উচ্চ মাধ্যমিক

পদার্থবিদ্যা

ডক্টর কে.ডি. রায়

পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ মাধ্যমিক শিক্ষা সংসদ কর্তৃক ঘোষিত ১৯৭৬ সালের পদার্থবিজ্ঞানের পাঠ্যসূচী অনুযায়ী একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর ছাত্র-ছাত্রীদের জন্য লিখিত।

উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থ-বিদ্যা

(একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর জন্য)

ডঃ কে. ডি. রায়, এম্ এস্-সি, পি. এইচ. ডি, এম্. আই. ই., গ্র্যাড্. আই. ই. ই. (লণ্ডন), ভি ডি. আই (জার্মানী);
অধ্যক্ষ, অভেদানন্দ মহাবিদ্যালয় (সাঁইথিয়া, বীরভূম)

'Elements of Physics', 'General Physics', 'Electrostatics & Magnetism', 'Current Electricity', 'Light', 'Sound', 'Heat and Thermodynamics' ও বিজ্ঞান প্রসঙ্গে ৯/১০ প্রভৃতি বহু গ্রন্থের লেখক।

ইণ্ডিয়ান বুক কনসার্ন
৩, রমানাথ মজুমদার স্ট্রীট
কলিকাতা-৭০০০০৯

প্রকাশক :
শ্রীপ্রতুলচন্দ্র ঘোষ
ইণ্ডিয়ান বুক কনসার্ন
৩, রমানাথ মজুমদার স্ট্রীট
কলিকাতা-৭০০০০৯

প্রথম প্রকাশ—নভেম্বর, ১৯৭৬
মূল্য : বাইশ টাকা মাত্র

মুদ্রাকর :
শ্রীপ্রদীপকুমার হাজরা
শ্রীমুদ্রণ
৪০, শিবনারায়ণ দাস লেন
কলিকাতা-৭০০০০৬

উৎসর্গ

জননী সারদেশ্বরীর
শ্রীচরণে

ভূমিকা

বর্তমান শিক্ষাবর্ষ হইতে এগারো-বারো এই দুই ক্লাসের উচ্চ মাধ্যমিক পাঠক্রম প্রচলিত হইয়াছে। উচ্চ মাধ্যমিক শিক্ষা-সংসদ কর্তৃক ঘোষিত পাঠ্যসূচী অনুযায়ী পদার্থ-বিদ্যা পুস্তকটি বাংলা ভাষায় রচিত হইল।

বর্তমান যুগ বিজ্ঞানের যুগ। দেশের কল্যাণসাধনের জন্য বিজ্ঞান-শিক্ষা ও জাতীয় উন্নতির ক্ষেত্রে তাহার উপযুক্ত প্রয়োগ সম্পর্কে প্রতিটি দেশ সম্পূর্ণরূপে সচেতন হইয়া উঠিয়াছে। আমাদের দেশেও বিজ্ঞানের তত্ত্ব ও তথ্যগুলি শিক্ষা প্রতিষ্ঠানের সর্ববিধ ক্ষেত্রে এবং জনসাধারণের মধ্যে প্রচারিত হওয়ার দিকে দৃষ্টি দেওয়া হইয়াছে। কিন্তু, এ ব্যাপারে একটি বিশেষ অসুবিধার কথা উল্লেখ করা যাইতে পারে। বিজ্ঞান-বিষয়ক পাঠ্যপুস্তকগুলি সাধারণতঃ ছাত্র-ছাত্রীগণ মাতৃভাষায় পাঠ করিতে না পারায়, অনেক সময়, তাহারা বিজ্ঞানের রসকে আনন্দের সঙ্গে গ্রহণ করিতে পারে না। কিন্তু একথা সম্পূর্ণ সত্য যে, মাতৃভাষার মাধ্যমে শিক্ষালাভ করিলে, শিক্ষার বিষয়গুলি ছাত্র-ছাত্রীদের যতখানি হৃদয়ঙ্গম হয়, তাহারা তত্ত্ব ও তথ্যের দুরূহতাকে অতিক্রম করিয়া পাঠ্য বিষয়কে যত সহজ, সরস এবং আন্তরিক আনন্দের সঙ্গে গ্রহণ করে, তাহা অন্য ভাষার দ্বারা হইবার উপায় নাই। আমাদের দেশেও মাতৃভাষার মাধ্যমে যে শিক্ষাদান ও শিক্ষা গ্রহণ করা যায় এবং তাহাতেও যে সর্ববিধ বিষয় ছাত্র-ছাত্রীগণ নিপুণভাবে আয়ত্ত করিতে পারে, ইহা প্রায় সকলেই বিশ্বাস করিতেছেন। বর্তমানে জাতীয় সরকার, চিন্তাশীল মনীষীবৃন্দ এবং লব্ধপ্রতিষ্ঠ শিক্ষাব্রতীগণ এই বিষয়ে মনোযোগ দিয়াছেন। শিক্ষাদান ও শিক্ষাগ্রহণের এই সাধু-সংকল্পের কথা চিন্তা করিয়া উচ্চ মাধ্যমিক পদার্থ-বিদ্যা গ্রন্থখানি বাঙলা ভাষায় রচিত হইল।

গ্রন্থখানিতে অতি সহজ, সরল, এবং প্রাঞ্জল ভাষা ব্যবহার করা হইয়াছে। সাবলীল ভাষায় ছাত্র-ছাত্রীগণের হৃদয়-মনে পাঠ্য বিষয় সহজে অনুপ্রবিষ্ট হয় এবং তাহাদের চিন্তাশক্তি ও কৌতূহল জাগরিত হয় ইহা উপলব্ধি করিয়া ভাষার দুরূহতা এবং বাক্য-গঠনের জটিলতাকে সম্পূর্ণ রূপে পরিহার করা হইয়াছে। ছাত্র-ছাত্রীদের সুবিধার জন্য এই গ্রন্থে প্রচুর সংখ্যক অঙ্ক কষিয়া দেওয়া হইয়াছে এবং অনুশীলনের জন্যও অনেক অঙ্ক সন্নিবেশিত করা হইয়াছে। প্রয়োগেই বিজ্ঞানের সার্থকতা এবং বিজ্ঞানের যে কোন তত্ত্ব সম্যক্‌রূপে বুঝিতে হইলে তত্ত্বাধীন অঙ্ক কষা ছাত্রদের অপরিহার্য কর্ম। আমার দীর্ঘ অভিজ্ঞতা হইতে বলিতে পারি যে, বিজ্ঞানের অঙ্ক বিষয়ে সাধারণ ছাত্র-

ছাত্রীদের মনে যে ভয় এবং বিভীষিকা থাকে, তাহা অধিকাংশ ক্ষেত্রে অবাস্তব এবং নিতান্তই অমূলক। কিছু পরিমাণে সচেষ্ট হইলে তাহারা অঙ্ক ব্যাপারে বিশেষ উৎসাহ ও আনন্দবোধ করিবে। আমার গ্রন্থখানি এই বিষয়ে ছাত্র-ছাত্রীদের অমূলক ভয় দূর করিবে বলিয়া আমার দৃঢ় বিশ্বাস। গ্রন্থটিকে উন্নততর করার প্রয়াসে শিক্ষক মহাশয়ও ছাত্র-ছাত্রীদের সুচিন্তিত মতামত পাইলে বিশেষ কৃতজ্ঞ থাকিব এবং পরবর্তী সংস্করণে সেগুলি কার্যকর করিবার চেষ্টা করিব।

ইণ্ডিয়ান বুক কনসার্ন-এর পরিচালক শ্রীযুত প্রতুল চন্দ্র ঘোষ মহাশয় পুস্তকটিকে সর্বাঙ্গসুন্দর করিবার জন্য যে প্রয়াস পাইয়াছেন এবং আমাকে নিরন্তর উৎসাহ প্রদান করিয়াছেন তাহা সত্যই অতুলনীয়। তাঁহাকে আমার আন্তরিক সাধুবাদ জ্ঞাপন করি।

পুস্তকটি ছাত্র-ছাত্রীদের উপকারে লাগিলে নিজের শ্রম সার্থক মনে করিব।

অভেদানন্দ মহাবিদ্যালয়
সাঁইথিয়া, বীরভূম
নভেম্বর, ১৯৭৬

ডঃ কে. ডি. রায়
গ্রন্থকার

SYLLABUS

PHYSICS

(Elective)

Paper—I	—	80 Marks.
Paper—II	—	80 Marks.
Practical	—	40 Marks,
	Total	200 Marks

1. MECHANICS

Particle Dynamics :

Rest and motion, reference frame, displacement, velocity and acceleration, momentum, binematical equations (in one dimension), elementary problems.

Scalars and Vectors. Composition and resolution of vectors. Representation of vector by co-ordinates. Addition of vectors by geometrical and analytical methods. Relative velocity and acceleration.

Newton's laws of motion, inertia, units of force, impulse and impulsive forces, conservation of linear momentum—elastic collisions of particles moving in the same line, jets and rockets. Friction, static and kinetic friction, co-efficient of friction.

Statics :

Centre of mass, centre of gravity. Conditions of equilibrium of a system of particles.

Dynamics of circular motion :

Rotational motion of a particle, angular velocity, angular acceleration, relation between angular velocity and linear velocity, angular momentum, moment of a force about a point and about an axis, torque, relation between angular momentum and torque (statement only), couples, centripetal force, centrifugal force (as a pseudo-force).

Work. Energy and Power :

Definition of work, relevant units, work done by and against a force. Mechanical energy—kinetic and potential forms. Conservation of energy—with the case of a freely falling body as an example. Power—definition, units.

2. GENERAL PROPERTIES OF MATTER

Gravitation :

Newton's law of universal gravitation. Constant of Gravitation (no experimental details on the determination of the Gravitational Constant). Gravitational attraction for extended bodies. Gravitational attraction of the earth. Laws of falling bodies. Variation of acceleration due to gravity. Simple pendulum. Motion of planets, satellites, Escape velocity (no deduction). Weightlessness in orbiting satellites.

Elastic properties of matter :

Stress, strain, elastic limit, Hooke's law, elastic modulii Youngs' modulus, Bulk modulus, rigidity modulus, Poisson's ratio.

Hydrostatics :

Density, Specific Gravity, (methods of determination of Sp. Gr. not required), Archimedes' principle (demonstrations), floatation, pressure in fluids, transmission of fluid pressure. Pascal's law and its applications. Air pressure and its measurement. Siphon, principles of lift pump, vacuum pump.

Surface Tension and Viscosity :

Simple surface tension phenomena (illustrated with demonstrations). Motion in fluids—viscosity—streamline and turbulent flow (qualitative ideas).

3. HEAT

Recapitulation of the basic concepts of heat and temperature.

Thermal expansions of solids and liquids. Simple demonstrations. Coefficient of expansion for solids, relation between them. Applications of expansions of solids.

Real and apparent expansions for liquids, relation between expansion coefficients. Anomalous expansion of water. Effect on marine life.

Thermal expansion of gases.

Boyle's law, Charles' law, Equation of state of an ideal gas ; volume and pressure co-efficient, Absolute scale of temperature.

Calorimetry :

Preliminary definitions, principle of calorimetry (no questions on measurement to be set), Calorimetric problems.

Change of State :

Latent heat (brief discussions of determination), evaporation and boiling. Effects of pressure on melting point and boiling point.

Vapour pressure. Relative humidity. Dew, fog and cloud. Hygrometry, Regnault's hygrometer.

Mechanical equivalent of heat :

Heat as a form of energy. Relation between the Calorie and the erg. Determination of mechanical equivalent of heat (paddle method). First law of thermodynamics. Isothermal and adiabatic expansions of gases. Specific heats of gases, definitions of C_p., C_v.

Kinetic Theory of Gases :

Evidence of molecular structure of matter and of random molecular motion. Brownian movement (qualitative description). Basic assumptions of the kinetic theory of ideal gases. Pressure of an ideal gas (mention of the formula ; derivation not required). Concept of temperature from kinetic theory. Qualitative discussions of limitations of ideal gas laws.

Transmission of Heat :

Conduction of heat, simple demonstrations ; thermal conductivity. Practical applications of thermal conduction. Convection of heat, convection current. Radiation ; radiation as a form of energy ; Stefan's law—statement and applications.

4. OPTICS

Recapitulation of basic topics on rectilinear propagation of light. Photometry—basic concepts. Lummer—Brodhun photometer.

Reflection at plane surfaces—laws of reflection, periscope. Reflection at curved surfaces—basic definitions and mathematical relations between u, v, f and r.

Refraction of light, laws of refraction. total reflection, critical angle, formation of a mirage. Refraction through a prism, minimum deviation, relation between Delta and Mu.

Image formation by thin convex and concave lenses ; basic definitions, deduction of formula connecting u, v, f, Spherical and chromatic aberrations (qualitative discussions).

Dispersion of light. Formation of a spectrum, different types of spectra (line and continuous), emission and absorption spectra—discussions on a very elementary level. Spectrometer (principle of working).

Atmospheric refraction and rainbow.

Optical Instruments : Camera, Compound microscope, Astronomical telescope, Binoculars.

The Human eye—defects of vision—remedy as example of combination of lenses.

5. VIBRATION AND WAVES

Vibrations :

Oscillations and its characteristics. Simple harmonic motion, examples. Relation with uniform circular motion. Graphical and mathematical representations. Energy in simple harmonic motion. Superposition of two simple h rmonic motions in the same direction (graphical) (i) in phase, (ii) in oppsite phases.

Nature of Vibrations—(transverse and longitudinal). Free and forced vibrations, resonance, damped oscillations (qualitative discussions with examples).

Waves :

Types of waves, characteristic features of propagating waves, preliminary definitions and relations. Reflection and refraction of waves.

Superposition of waves ; stationary waves ; vibrations of strings and air columns.

Interference, beats, Doppler effect, polarization (qualitative discussions).

Nature of Waves :

(i) Sound waves as elastic waves. Velocity of sound, Laplace's formula (Newton's formula $V = \sqrt{E/\rho}$ to be assumed).

Sources of sound. Musical sound and noise. Principles of recording and reproduction of sound.

(ii) Light as a wave phenomenon : Finite velocity of light. Interference of light. Polarization (qualitative ideas). Validity of geometrical optics as an approximation.

6. MAGNETISM

Recapitulation of basic concepts with demonstrations.

Magnetic field, magnetic lines of force, Coulomb's law. unit pole, magnetic intensity.

Molecular theory of magnetism. Ferro, para and diamagnetic substances. Permeability, Susceptibility.

Terrestrial magnetism—Declination, Dip and Horizontal intensity (methods of measurement not required).

7. ELECTROSTATICS

Basic electrostatic phenomena, Electroscopes—simple experiments. Coductors and insulators. Electrostatic induction. Distribution of charge on conductors. Surface charge density.

Coulomb's law of electrostatics. Electric field. Potential and its measure ; qualitative ideas of relation between intensity and potential. Capacitance, capacitance of a sphere. Simple capacitors. Factors determining capacitance. Capacitors in series and in parallel.

Electrostatic machines—electrophorus and Van de Graff generator.

8. CURRENT ELECTRICITY

Voltaic Cells, Primary and Secondary Cells. Ohm's Law. Resistivity. Temperature co-efficient of resistance. Resistances in series and parallel. Wheatstone Bridge (measurement of resistances of resistors with this bridge). Post Office Box. Mete Bridge. Potentiometer—measurement of Potential Difference and current.

Heating effect of current—Joule's law. Determination of 'J' by electrical method. Thermoelectricity. Seebeck, Peltier and Thomson's effects (general outiine). Energy and Power in electrical circuits.

Chemical effect of current—Electrolysis—Faraday's laws, Practical applications.

Electromagnetism :

Magnetic effect of current—action of magnet on current, current on magnet and current on current. Demonstrations. Simple Galvanometers (Tangent, d'Arsonval), Shunt, Voltmeters, Ammeters and their uses.

Electromagnetic induction ; Laws of Faraday and Lenz. Self and mutual inductance. Induction Coil.

Ideas about alternating currents (qualitative discussions). Principle of motors and dynamos. Principles of telegraphy, telephony and microphone.

9. MODERN PHYSICS

Conduction of electricity through gases—phenomenological study. Cathode rays and their properties. X-rays ; discovery and properties. Nature of X-rays. Practical applications.

Thermionic emission—descriptive.

Vacuum tubes, diodes—principle of rectification, uses triodes—principle of amplification. Cathode ray tube. Elementary principles of radio, television and radar.

Photo electric phenomena. Photo tube and its uses. Particle nature of radiation. Eiementary ideas of Quantum Theory. (No details on the determination of Planck's constant).

Electronic structure of the atom—brief introduction to the Bhor model of the atom. Fluorescence and phosphorescence semi-conductor diodes and triodes, transistors and their uses (descriptive).

Measurement of atomic masses—brief discussion of the principle of the Mass Spectrograph (single focussing).

The nucleus of the atom and its structure. Atomic number and mass number, isotopes.

Radioactivity—its discovery. Alpha, Beta and Gamma Rays and their properties. Radioactive decay (no mathematics—graphical illustrations only). Radio Isotopes. Artificial transmutation of elements—with illustrations. Mention of mass energy equivalence. Nuclear fission and its uses. Nuclear fusion—its importance. Cosmic rays and mesons.

সূচীপত্র

চুম্বক বিজ্ঞান

স্থির-বিদ্যুৎ

তড়িৎ-বিজ্ঞান

আধুনিক পদার্থ-বিজ্ঞান

কম্পন ও তরঙ্গ বিজ্ঞান

প্রথম অধ্যায়

চুম্বকের সাধারণ ধর্ম

(General properties of a magnet)

1-1. প্রাকৃতিক চুম্বক (Natural magnet) :

...য় চার হাজার বছর আগে প্রাচীন অধিবাসীরা বিশেষ গুণসম্পন্ন এক প্রকার ... আকর আবিষ্কার করেন। ইহাদের বিশেষ গুণ এই যে ইহাদিগকে সরু সুতা ... মুক্ত অবস্থায় (freely) ঝুলাইলে ইহারা সর্বদাই উত্তর-দক্ষিণ দিকে মুখ করিয়া ...বে। এই গুণের জন্যই ইহাদিগকে **লোড্‌স্টোন** (Load stone) বা পথ-প্রদর্শক পাথর বলা হয়। রাসায়নিক দৃষ্টিভঙ্গীতে ইহা লোহা এবং অক্সিজেনের একটি যৌগিক পদার্থ এবং ইহাতে প্রায় 72% লোহা আছে। ইহার রাসায়নিক সংকেত Fe_3O_4 ; ম্যাগনেসিয়া, নরওয়ে, স্বইডেন, স্পেন ইত্যাদি অঞ্চলে আকর হিসাবে ইহা পাওয়া যায়। এশিয়া মাইনরের ম্যাগনেসিয়া অঞ্চলে এই আকর প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায় বলিয়া এই আকরকে ম্যাগনেটাইট (magnetite) বলা হইয়া থাকে। এই ম্যাগনেটাইটগুলিকে চুম্বক এবং উহাদের গুণাবলীকে চুম্বকত্ব বলা হয়। দিক্‌নির্দেশক ধর্ম ছাড়া চুম্বকের আকর্ষণী ধর্মও আছে। একটি চুম্বকের সংস্পর্শে কিছু লোহার গুঁড়া আনিলে চুম্বক উহাদিগকে আকর্ষণ করিবে। সুতরাং প্রাকৃতিক চুম্বকের মধ্যে দুইটি ধর্ম বিদ্যমান : যথা—(i) **দিগ্‌দর্শী ধর্ম** (Directive property) এবং (ii) **আকর্ষণী ধর্ম** (Attractive property)। চুম্বককে মুক্তভাবে ঝুলাইয়া দিলে দিগ্‌দর্শী ধর্মের জন্য উহা উত্তর-দক্ষিণ মুখে থাকিবে। আকর্ষণী ধর্মের জন্য ইহা লোহা বা অন্যান্য কয়েকটি বিশেষ বস্তুকে আকর্ষণ করিবে। প্রকৃতিতে যে চুম্বক পাওয়া যায়, তাহাকে **প্রাকৃতিক চুম্বক** (Natural magnet) বলা হয়।

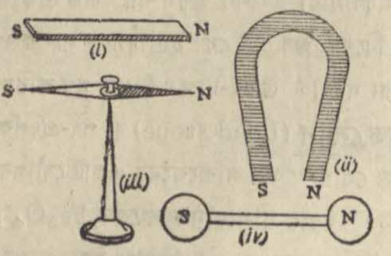
1-2. কৃত্রিম চুম্বক (Artificial magnet) :

প্রাকৃতিক চুম্বক সাধারণত সুষম আকারের হয় না এবং উহাদের চৌম্বক শক্তিও খুব জোরালো নয়। সেইজন্য বাস্তব ক্ষেত্রে ইহাদের ব্যবহার বিশেষভাবে সীমায়িত। কিন্তু পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে কৃত্রিম উপায়ে কতকগুলি বিশেষ বস্তুকে চুম্বকে পরিণত করা যায়। এই প্রক্রিয়াকে **চুম্বকত্ব** (magnetisation) এবং এইরূপে প্রস্তুত চুম্বককে **কৃত্রিম চুম্বক** (artificial magnet) বলে। প্রয়োজনানুসারে ইহাদিগকে বিভিন্ন আকারের এবং বিভিন্ন শক্তিসম্পন্ন করা সম্ভব। আকৃতি বিশেষে কৃত্রিম

চুম্বককে সাধারণত চারি ভাগে ভাগ করা যায়। যথা—(i) **দণ্ড চুম্বক** (bar magnet), (ii) **অশ্বখুরাকৃতি চুম্বক** (horse-shoe magnet), (iii) **চুম্বক শলাকা** (magnetic needle) এবং (iv) **গোলকবিশিষ্ট চুম্বক** (ball-ended magnet)।

(i) **দণ্ড চুম্বক** (Bar magnet) :

ইহা আয়তাকার বা বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট এক প্রকারের কৃত্রিম চুম্বক [চিত্র 1 ক (i)]। পরীক্ষাগারে এই ধরনের চুম্বক প্রায়ই ব্যবহৃত হইয়া থাকে।



চিত্র—1 ক

(ii) **অশ্বখুরাকৃতি চুম্বক** (Horse-shoe magnet) :

ইহা ঘোড়ার খুরের মতো দেখি U-আকৃতির চুম্বক। এই ধরনে চুম্বকের প্রান্তদ্বয় খুব কাছাকাছি থাকে [চিত্র 1 ক (ii)]

(iii) **চুম্বক শলাকা** (Magnetic needle) :

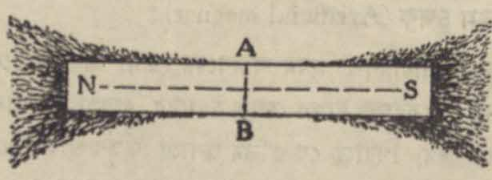
ইহা চুম্বক গুণসম্পন্ন ছোট এবং হাল্কা ইস্পাতের পাতের তৈয়ারী। ইহার দুই প্রান্ত খুব সরু থাকে। ইহা মাঝখানে অক্ষের সহিত এমনভাবে লাগানো থাকে [চিত্র 1 ক (iii) যে ইহা ইচ্ছামত অনুভূমিক তলে ঘুরিতে পারে।

(iv) **গোলক বিশিষ্ট চুম্বক** (Ball-ended magnet) :

ইহা দেখিতে দণ্ডের মত কিন্তু ইহাদের দুই প্রান্তে দুইটি গোলক থাকে [চিত্র 1 ক (iv)]

1-3. **কয়েকটি সংজ্ঞা** (Some definitions) :

(i) **মেরু** (Pole) : লৌহচূরের ভিতর একটি দণ্ড চুম্বককে ডুবাইলে দেখা যাইবে যে লৌহচূরগুলি চুম্বকের সর্বত্র সমানভাবে লাগিয়া থাকে না। বাস্তবক্ষেত্রে



চিত্র—1 খ

চুম্বকের দুই প্রান্তে N ও S-স্থানে সর্বাপেক্ষা বেশী এবং AB অংশে সর্বাপেক্ষা কম লৌহচূর লাগিয়া থাকিতে দেখা যায় [চিত্র 1 (খ)]।

চুম্বকের দুই প্রান্তের নিকট যে দুই স্থানে চৌম্বক শক্তি সর্বাপেক্ষা বেশী, তাহাদিগকে চুম্বকের মেরু বলে। মেরু দুইটি চুম্বকের দুই প্রান্তের কাছাকাছি স্থানে বিদ্যমান।

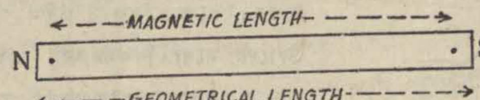
সূতার সাহায্যে মুক্ত অবস্থায় কোন চুম্বককে ঝুলাইলে উহা উত্তর-দক্ষিণ অভিমুখী হইবে। চুম্বকের যে মেরুটি উত্তর দিকে থাকিবে তাহাকে **উত্তর সন্ধানী মেরু** বা সংক্ষেপে **উত্তর মেরু** (north pole) বলে। অপর মেরুটি দক্ষিণ দিকে থাকে বলিয়া তাহাকে **দক্ষিণ মেরু** (south pole) বলা হয়।

(ii) **চৌম্বক অক্ষ** (Magnetic axis) :

চুম্বকের মেরুদ্বয়ের সংযোগকারী রেখাকে **চৌম্বক অক্ষ** বলে।

(iii) **চৌম্বক দৈর্ঘ্য** (Magnetic or Equivalent length) :

চুম্বকের দুই মেরুর দূরত্বকে **চৌম্বক দৈর্ঘ্য** বলে। চুম্বকের প্রকৃত দৈর্ঘ্য অপেক্ষা



চিত্র—1 গ

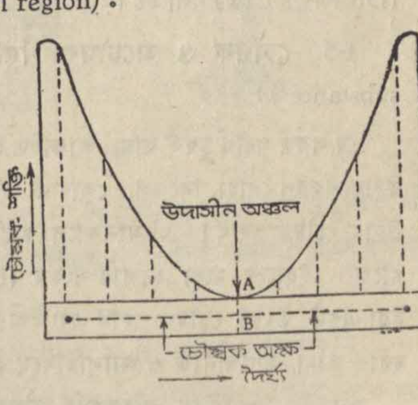
এই দৈর্ঘ্য সাধারণত কম [চিত্র 1 গ]।

(iv) **চৌম্বক মধ্যতল** (Magnetic meridian) :

মুক্তভাবে ঝুলানো অবস্থায় চুম্বকের দুইটি মেরুর মধ্য দিয়া অংকিত কাল্পনিক অভিলম্ব-তলকে **চৌম্বক মধ্যতল** বলে।

(v) **উদাসীন অঞ্চল** (Neutral region) :

কোন চুম্বককে লোহার গুঁড়ার মধ্যে ডুবাইলে উহার মাঝখানে কোন লোহার গুঁড়া লাগিয়া থাকে না। চুম্বকের মধ্য বিন্দু দিয়া চৌম্বক অক্ষের উপর অঙ্কিত লম্বতল *AB*-কে (চিত্র 1 খ) **উদাসীন অঞ্চল** বলে। চুম্বকের দৈর্ঘ্য বরাবর বিভিন্ন স্থানে কিরূপ চৌম্বক শক্তি থাকিবে তাহা সাধারণভাবে লেখচিত্র (চিত্র 1 ঘ) সাহায্যে দেখানো হইয়াছে।



চিত্র—1 ঘ

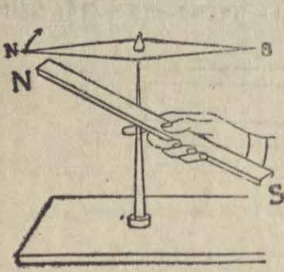
স্পষ্টতঃই দেখা যাইতেছে যে চৌম্বক শক্তির মান মেরু অঞ্চলে সর্বাপেক্ষা বেশী এবং উদাসীন অঞ্চলে সর্বাপেক্ষা কম।

(vi) **চুম্বকের ভ্রামক** (Moment of a magnet) :

কোন চুম্বকের মেরু শক্তি m এবং চৌম্বক দৈর্ঘ্য l হইলে, চুম্বকটির ভ্রামক $= ml$ হইবে। ইহা সাধারণত M দ্বারা সূচিত হয় এবং চুম্বকের ক্ষেত্রে ইহা একটি প্রয়োজনীয় রাশি।

1-4. চৌম্বক আকর্ষণ ও বিকর্ষণের সূত্রাবলী (Laws of magnetic attraction and repulsion) :

একটি চুম্বককে যদি আস্তে আস্তে একটি চুম্বক শলাকার কাছে আনা হয় তবে উহাদের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ ঘটিবে। চুম্বকের উত্তর মেরুকে শলাকার উত্তর মেরুর কাছে আনিলে (চিত্র 1 ঙ) বা চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে শলাকার দক্ষিণ মেরুর কাছে রাখিলে উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটে। কিন্তু চুম্বকের উত্তর মেরুকে চুম্বক শলাকার দক্ষিণ মেরুর কাছে আনিলে বা দক্ষিণ মেরুকে শলাকার উত্তর মেরুর নিকটে আনিলে উহাদের মধ্যে আকর্ষণ দেখা যাইবে। সুতরাং **সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং অসমমেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে** (Like poles repel and unlike poles attract)। ইহাকে **দ্যু ফে'র সূত্র** (Du Fay's Law) বলা হয়।



চিত্র—1 ঙ

1-5. চৌম্বক ও অচৌম্বক পদার্থ (Magnetic and non-magnetic substances) :

যে সকল পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত হয় তাহাদিগকে **চৌম্বক পদার্থ** বলে। উদাহরণস্বরূপ লোহা, নিকেল, কোবাল্ট ইত্যাদি চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয়। সুতরাং উহারা চৌম্বক পদার্থ। বর্তমানকালে কয়েকটি সংকর ধাতুও চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হইয়া থাকে। ইহাদের মধ্যে হয়শ্লার সংকর (Heusler alloy)-এর নাম উল্লেখযোগ্য। ইহা একটি উৎকৃষ্ট চৌম্বক পদার্থ এবং ইহার উপাদান হিসাবে তিনটি অচৌম্বক পদার্থ যথা—তামা, ম্যাংগানীজ ও অ্যালুমিনিয়ম বর্তমান।

ফ্যারাডে দেখান যে কতকগুলি চৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত হয় কিন্তু কতকগুলি আবার শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হইয়া থাকে। যেসকল পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত হয় তাহাদিগকে **পরা-চৌম্বক** (Paramagnetic) পদার্থ বলে। কিন্তু যেসকল চৌম্বক পদার্থ শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হইয়া থাকে তাহাদিগকে

তিরশ্চুম্বক (Diamagnetic) পদার্থ বলে। লোহা, নিকেল ও কোবাল্ট পরাচুম্বকের উদাহরণ এবং অ্যান্টিমনি, বিস্মাথ, দস্তা ইত্যাদি তিরশ্চুম্বকী পদার্থের উদাহরণ। আবার কতকগুলি পরাচৌম্বক পদার্থ যথা লোহা, ইস্পাত ইত্যাদি চুম্বক দ্বারা খুব জোরে আকর্ষিত হয়। ইহাদিগকে **অয়শ্চৌম্বক** (Ferromagnetic) পদার্থ বলে।

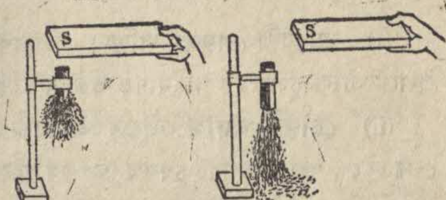
যেসব পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত বা বিকর্ষিত কিছুই হয় না, তাহাদিগকে **অচৌম্বক পদার্থ** বলে। যথা—কাঠ, কাগজ, কাচ ইত্যাদি।

কোনও চৌম্বক পদার্থকে (i) **যান্ত্রিক উপায়ে**, (ii) **বৈদ্যুতিক উপায়ে** (iii) **পৃথিবীর প্রভাব দ্বারা** চুম্বকে পরিণত করা যায়। কিন্তু অচৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা যায় না।

1-6. **চৌম্বক আবেশ** (Magnetic Induction) :

একটি শক্তিশালী চুম্বককে কোন চৌম্বক পদার্থের নিকটে আনিলে বা উহার সহিত স্পর্শ করাইলে পদার্থটি চৌম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। এইরূপে প্রাপ্ত চুম্বকত্বকে আবিষ্ট চুম্বকত্ব বলে এবং ইহা সাধারণত অস্থায়ী ধরনের হইয়া থাকে। যে ঘটনার জন্য চৌম্বকপদার্থ কোন চুম্বকের উপস্থিতির জন্য অস্থায়ী চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়, তাহাকে **চৌম্বক আবেশ** (magnetic induction) বলে। চৌম্বক আবেশ নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা বুঝান যাইতে পারে :

একটি কাঁচা লোহার দণ্ডকে স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে খাড়াভাবে ধরা হইল। এই অবস্থায় লৌহদণ্ডটি কোন লোহার গুঁড়া আকর্ষণ করিবে না ; কিন্তু একটি চুম্বককে ঐ দণ্ডের কাছে আনিলে দণ্ডটি লোহার গুঁড়া আকর্ষণ করিবে (চিত্র 1 চ)। ইহা হইতে দেখান যায় যে লৌহদণ্ডটি চুম্বকের উপস্থিতির জন্য চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হইয়াছে। চুম্বকটি সরাইয়া লইলে দণ্ডটিও চুম্বকত্ব হারাইবে।

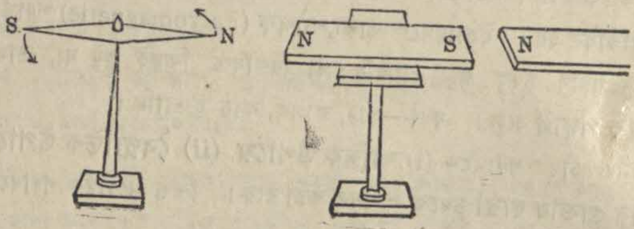


চিত্র—1 চ

1-7. **আবিষ্ট মেরুর প্রকৃতি** (Nature of induced polarity) :

একটি চুম্বক শলাকা লইয়া একই সমতলে শলাকার পূর্বদিকে একটি চুম্বককে রাখা হইল। ইহাদের মধ্যকার দূরত্ব এমন করা হইল যাহাতে চুম্বকের জন্য চুম্বকশলাকার কোন বিক্ষেপ (deflection) না ঘটে। যদি এখন একটি আয়তাকার কাঁচা লোহার দণ্ডকে উহার পাশে রাখা যায় তবে চুম্বক শলাকাটিকে নড়িতে দেখা যাইবে। ইহা

হইতে বোঝা যায় যে কাঁচা লোহাটি আবিষ্ট চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হইয়াছে। যদি চুম্বকটির উত্তর মেরু শলাকার দিকে রাখা হয়, শলাকাটি পশ্চিম দিকে নড়িবে (চিত্র 1 ছ)।



চিত্র—1 ছ

ইহা হইতে বুঝা যায় যে কাঁচালোহার যে প্রান্ত চুম্বক হইতে দূরে অবস্থিত সেই প্রান্তে আবিষ্ট মেরু হিসাবে সমমেরুর সৃষ্টি হইবে। চুম্বকের নিকটে যে প্রান্ত থাকে সেই প্রান্তে বিপরীত মেরু উৎপন্ন হয়। সুতরাং একখণ্ড চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক আবেশের জন্য আবেশকারী মেরুর নিকটতম প্রান্তে বিপরীত মেরু ও দূরতম প্রান্তে সমমেরুর সৃষ্টি হইয়া থাকে।

1-8. একখণ্ড চৌম্বক পদার্থে আবেশের জন্য যে পরিমাণ চুম্বকত্ব উৎপন্ন হয় তাহা নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভরশীল :

(i) **আবেশী মেরুর শক্তি :** আবেশী মেরুর শক্তি যত বেশী হইবে, চৌম্বক পদার্থে আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণও তত বেশী হইবে।

(ii) **চৌম্বক পদার্থ হইতে আবেশী মেরুর দূরত্ব :** উহাদের দূরত্ব যত বেশী হইবে, পদার্থে আবিষ্ট চুম্বকত্ব তত কম হইবে।

(iii) **চৌম্বক পদার্থের প্রকৃতি :** যদি কাঁচা লোহার দণ্ড ব্যবহৃত হয়, তবে অনুরূপ অবস্থায় ইস্পাত অপেক্ষা কাঁচালোহাতে আবিষ্ট চুম্বকত্ব বেশী হইবে। অনুরূপ পরিস্থিতিতে নিকেল ও কোবাল্টে চৌম্বক আবেশ অনেক কম হইবে।

(iv) **মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতি :** আবেশী চুম্বক এবং চৌম্বকপদার্থের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপরেও আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ নির্ভর করে।

1-9. আকর্ষণের পূর্বে আবেশ (Induction preceeds attraction) : চুম্বক ও চৌম্বক পদার্থের মধ্যে যে আকর্ষণ ঘটে, তাহা চৌম্বক আবেশের সাহায্যে বুঝান যাইতে পারে। কোন চৌম্বক পদার্থের কাছে একটি চুম্বক আনিলে প্রথমে উহাতে আবিষ্ট চুম্বকত্ব সৃষ্টি হয়। চৌম্বক পদার্থের যে অংশ আবেশী মেরুর নিকটতম সেই অংশে বিপরীত মেরু উৎপন্ন হইয়া থাকে এবং দূরতম প্রান্তে সমমেরু সৃষ্টি হয়। বিষম মেরু পরস্পর পরস্পরকে আকর্ষণ করে বলিয়া চুম্বকের আবেশী মেরু ও চৌম্বক

পদার্থটির নিকটতম প্রান্তের আবিষ্ট মেরুর মধ্যে আকর্ষণ ঘটে। সুতরাং চৌম্বক পদার্থের কাছে চুম্বক আনিলে প্রথমত উহা আবিষ্ট চুম্বকে পরিণত হয় এবং পরে চৌম্বক পদার্থে উৎপন্ন বিপরীত মেরু ও আবেশী মেরুর মধ্যে আকর্ষণ ঘটিয়া থাকে। সুতরাং আকর্ষণের পূর্বে চৌম্বক আবেশ ঘটে।

1-10. বিকর্ষণই চুম্বকত্বের প্রকৃষ্ট প্রমাণ (Repulsion is the surer test of magnetisation) :

চৌম্বক পদার্থের কাছে একটি চুম্বক আনিলে আবেশের জন্য উহাদের মধ্যে আকর্ষণ ঘটিয়া থাকে। অনুরূপভাবে দুইটি চুম্বকের বিষম মেরুও পরস্পর পরস্পরকে আকর্ষণ করে। সুতরাং একটি চুম্বক ও কোন পদার্থের মধ্যে আকর্ষণ ঘটিলে দ্বিতীয় পদার্থটি চুম্বক বা চৌম্বক পদার্থ হইতে পারে। কিন্তু আমরা জানি সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। সুতরাং যদি ঐ দুইয়ের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটে তবে আমরা নিশ্চিত সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে উহারা উভয়েই চুম্বক। উদাহরণস্বরূপ কোন চুম্বকের উত্তর মেরু একখণ্ড কাঁচা লোহার কাছে আনিলে সবজায়গায় আকর্ষণ হইয়া থাকে। অনুরূপে এই চুম্বকের উত্তর মেরুর সঙ্গে অন্য চুম্বকের দক্ষিণ মেরুর আকর্ষণ হইতে পারে। কিন্তু যেখানে বিকর্ষণ সেখানে অপর মেরুরটির উত্তর মেরু হওয়াই সম্ভাবনা। সুতরাং আমরা বলিতে পারি যে **বিকর্ষণই চুম্বকত্বের নিশ্চিত প্রমাণ।**

1-11. চুম্বকত্ব হ্রাস (Demagnetisation) :

কোন চুম্বকের চুম্বকত্ব আংশিকভাবে বা সম্পূর্ণভাবে বিনষ্ট হইতে পারে। আংশিক চুম্বকত্ব হ্রাস নিম্নলিখিত কারণগুলির জন্য ঘটিয়া থাকে :—

(i) **যথেচ্ছ ব্যবহার** ; (ii) **সদৃশ মেরুর সান্নিধ্য** ; (iii) **পৃথিবীর আবেশ** এবং (iv) **ইহার নিজের মেরু।**

চুম্বককে উপযুক্ত মাত্রায় উত্তপ্ত করিলে বা উহার ভিতর বিদ্যুৎ প্রবাহিত করাইলে উহার চুম্বকত্ব সম্পূর্ণভাবে বিনষ্ট হইতে পারে।

(a) **আংশিক চুম্বকত্ব হ্রাস** (Partial demagnetisation) :

(i) **যথেচ্ছ ব্যবহার দ্বারা** (By rough handling) : চুম্বককে আছাড় দিলে বা হাতুড়ী দিয়া আঘাত করিলে চুম্বকের আংশিক চুম্বকত্ব হ্রাস হয়।

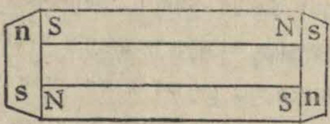
(ii) **সদৃশ মেরুর সান্নিধ্য দ্বারা** (By proximity of similar poles) : কোন একটি চুম্বকের মেরুকে অন্য একটি চুম্বকের সমমেরুর কাছে রাখিলে প্রত্যেকে প্রত্যেকের উপর বিপরীত মেরু আবিষ্ট করিবে। ফলে চুম্বকগুলি দুর্বল হইয়া পড়ে।

(iii) **পৃথিবীর আবেশ দ্বারা** (By Earth's induction) :

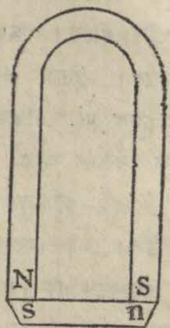
আমরা জানি পৃথিবী একটি প্রকাণ্ড চুম্বক বিশেষ। সুতরাং যদি একটি চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে চৌম্বক মধ্যতলে উত্তরমুখী করিয়া রাখা হয় তবে পৃথিবীর ক্রিয়ার ফলে ঐ প্রান্তে উত্তর মেরু আবিষ্ট হইবে। ফলে চুম্বকটি কিছু পরিমাণ চুম্বকত্ব হারাইবে।

(iv) **উহার নিজের মেরু দ্বারা** (By its own poles) :

চুম্বকের চুম্বকত্ব হ্রাস উহার নিজের মেরুর জন্যও হইতে পারে। যে কোন দণ্ড-চুম্বকের উত্তরমেরু, দক্ষিণমেরু বিশিষ্ট দূরবর্তী প্রান্তে উত্তর মেরুর আবেশ ঘটাইতে চেষ্টা



চিত্র—1 জ (i)



চিত্র—1 জ (ii)

করিবে। সুতরাং আংশিক চুম্বকত্ব হ্রাস চুম্বকের নিজের মেরুর জন্যও ঘটিয়া থাকে। ইহা কমাইবার জন্য একখণ্ড কাঁচা লোহার তৈয়ারী চৌম্বক-রক্ষক (magnetic keeper) ব্যবহার করা হয়। দণ্ড চুম্বকের ক্ষেত্রে একজোড়া চুম্বক পরস্পরের দিকে বিপরীত মেরু করিয়া রাখা হয়। তারপর দুই খণ্ড কাঁচা লোহা মেরুগুলির উপর রাখা হয় [চিত্র 1 জ (i)]। চুম্বকের প্রত্যেকটি মেরু উহাদের সংলগ্ন চৌম্বক রক্ষকের উপর সমান ও বিপরীত মেরুর আবেশ ঘটায়। ফলে সমস্ত মেরুগুলির মধ্যে একটি বদ্ধমুখ শৃংখল (closed chain)-এর সৃষ্টি হয় এবং চুম্বকত্ব বিনাশের কারণ দূরীভূত হয়। অশ্বখুরাকৃতি চুম্বকের ক্ষেত্রেও চৌম্বক রক্ষক ব্যবহার করা উচিত [চিত্র 1 জ (ii)]।

(b) **চুম্বকত্ব সম্পূর্ণ হ্রাস** (Complete demagnetisation) :

(i) **তাপদ্বারা** (By heating) : কোন চুম্বকের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলে উহা ক্রমে ক্রমে চৌম্বক ধর্ম হারাইতে থাকিবে এবং একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ইহার সবটুকু চুম্বকত্বই বিনষ্ট হইয়া যাইবে। এই তাপমাত্রাকে **ক্যুরি বিন্দু** (Curie point) বলে। ইহা বিভিন্ন চৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে বিভিন্ন। লোহা এবং ইস্পাতের ক্যুরি বিন্দু প্রায় 750°C এবং নিকেলের প্রায় 350°C হইয়া থাকে।

(ii) **তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা** (By electric current) :

চুম্বকের উপর অন্তরিত (insulated) তামার তার জড়াইয়া ব্যাটারীর সাহায্যে নির্দিষ্ট দিকে তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ পাঠাইলে চুম্বকটির চুম্বকত্ব বিনষ্ট হইয়া যায়। পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ (Alternating Current)-ও এই উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত হইতে পারে।

অনেক সময় চুম্বক পাহাড়ের পাশ দিয়া চলার সময় লোহার জাহাজ চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। জাহাজকে চুম্বকত্ব হীন করার জন্য পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

প্রশ্নাবলী

1. চুম্বকের সাধারণ ধর্মাবলী লিখ। নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা দাও :—(i) মেরু (ii) চৌম্বক-অক্ষ, (iii) চৌম্বকদৈর্ঘ্য (iv) চৌম্বক মধ্যতল এবং (v) উদাসীন অঞ্চল [State the fundamental properties of a magnet and define the following terms :—(i) Magnetic pole (ii) Magnetic axis (iii) Equivalent length (iv) Magnetic meridian and (v) Neutral region.]

2. চুম্বক, চৌম্বক পদার্থ এবং অচৌম্বক পদার্থের পার্থক্য লিখ [Distinguish between a maguet, a magnetic substance and a non-magnetic substance.]

3. চৌম্বক-আবেশ কাহাকে বলে ? আবিষ্ট মেরুর প্রকৃতি এবং তাহার পরিমাণ বিষয়ে আলোচনা কর। [What is meant by magnetic Induction ? Discuss the nature and amount of induced polarity.]

4. কোন চুম্বকের চুম্বকত্ব কি ভাবে বিনষ্ট হইতে পারে ? ইহার প্রতিকার কি ? [Explain how the magnetism of a magnet can be weakened. Discuss its remedies.]

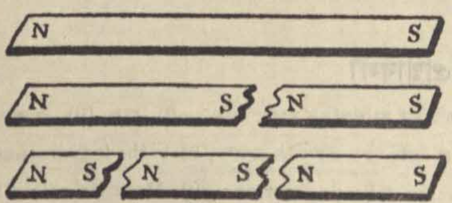
দ্বিতীয় অধ্যায়

চুম্বকের আণবিক তত্ত্ব

(Molecular Theory of Magnetism)

2-1. চুম্বকের আণবিক তত্ত্ব (Molecular theory of Magnetism) :

আমরা জানি যে চুম্বকের দুইটি মেরু থাকে। কিন্তু একটি দণ্ড চুম্বককে দুই খণ্ডে বিভক্ত করিলে দেখা যাইবে, প্রত্যেক খণ্ড দুই প্রান্তে বিপরীত মেরুবিশিষ্ট এক একটি পৃথক চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। এই চুম্বকের শক্তি পূর্বের চুম্বকের সমান থাকিবে। এই খণ্ডগুলিকে যদি আরও বিভক্ত করা হয়, তবে দেখা যাইবে, প্রত্যেকটি খণ্ড পূর্বের মত পৃথক পৃথক স্বয়ংসম্পূর্ণ চুম্বকে পরিণত হইয়াছে (চিত্র 2ক)।



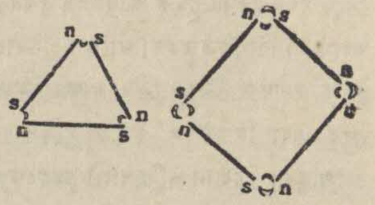
চিত্র—2ক

এই প্রক্রিয়া আরো অনেক বার সংঘটিত করা যাইতে পারে কিন্তু কোন ক্ষেত্রেই একটিমাত্র মেরু পাওয়া যাইবে না। সুতরাং একটিমাত্র মেরুকে বিচ্ছিন্ন করা অসম্ভব।

'একটিমাত্র মেরুকে বিচ্ছিন্ন করা যাইতে পারে না' এই তথ্য হইতে জার্মান বৈজ্ঞানিক ওয়েবার (Weber) সিদ্ধান্ত করেন যে, চৌম্বক পদার্থের অণুগুলির প্রত্যেকটি দুই প্রান্তে বিপরীত মেরু বিশিষ্ট এক একটি ক্ষুদ্র চুম্বক বিশেষ। এই তথ্য ইউইং (Ewing) আরও সম্পূর্ণ করেন এবং ইহাকে **চুম্বকের আণবিক তত্ত্ব** বলা হয়। চুম্বকের আণবিক তত্ত্ব অনুসারে চৌম্বক পদার্থের অণুগুলির প্রত্যেকটি দুই প্রান্তে বিপরীত মেরু-বিশিষ্ট এক একটি ক্ষুদ্র চুম্বক। এই ক্ষুদ্র চুম্বকগুলিকে **চৌম্বক উপাদান** (Magnetic elements) বলা হয়। অচৌম্বকীয় পদার্থে চৌম্বক উপাদানগুলি হয় এলোমেলোভাবে ছড়ানো থাকে, না হয় তাহারা বদ্ধ-শৃঙ্খল (closed chain) গঠন করিয়া থাকে। ইহাকে ইউইং শৃঙ্খল বলে।

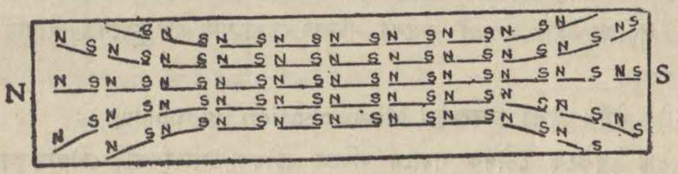
যখন এলোমেলোভাবে সাজান থাকে তখন কোন নির্দিষ্ট চৌম্বক উপাদানের চৌম্বক শক্তি উহার পার্শ্ববর্তী উপাদানগুলির চৌম্বক শক্তিদ্বারা প্রশমিত থাকে। ফলে বহির্দেশে চৌম্বক পদার্থের কোন চৌম্বক ধর্ম দেখা যায় না। বিভিন্ন চৌম্বক উপাদান বদ্ধমুখ শৃঙ্খল গঠন করিতে পারে (চিত্র 2খ)। এই শৃঙ্খলে উপাদানের

উত্তর মেরু পার্শ্ববর্তী উপাদানের দক্ষিণ মেরুর প্রভাব নষ্ট করিবে। পরবর্তী উপাদানের উত্তরমেরু তাহার পরবর্তী উপাদানের দক্ষিণ মেরু কর্তৃক প্রশমিত হইবে এবং এই প্রক্রিয়া চলিতে থাকিবে। ফলে কোন লব্ধি চুম্বকত্ব পদার্থটিতে প্রকটিত হইবে না। চৌম্বক পদার্থে চৌম্বকীয় বল প্রয়োগ করিলে চৌম্বক



চিত্র - 2 খ

উপাদানগুলি ঐ বলের অভিমুখে সজ্জিত হইয়া যায়। চৌম্বকীয় বল খুব শক্তিশালী হইলে চৌম্বকীয় বলের অভিমুখে সমস্ত উপাদানের বিন্যাস ঘটিবে। এই অবস্থায়



চিত্র—2 গ

চৌম্বক পদার্থের এক প্রান্তে উত্তর মেরু এবং অপর প্রান্তে দক্ষিণ মেরু থাকিবে। চৌম্বক পদার্থটি তখন চুম্বকে পরিণত হইবে (চিত্র 2গ)।

আধুনিক তত্ত্ব অনুযায়ী চৌম্বক পদার্থের কতকগুলি অণু এক সঙ্গে আসিয়া এক একটি গোষ্ঠী বা ডোমেন (domain) গঠন করে। এই ডোমেনগুলি চৌম্বক মৌল হিসাবে আচরণ করে। চুম্বকত্বের সময় ডোমেনগুলি ঘুরিয়া যায় এবং নির্দিষ্টভাবে সজ্জিত হইয়া পড়ে।

2-2. চুম্বকের আণবিক তত্ত্বের সমর্থন (Support of the molecular theory of magnetism) :

চুম্বকের আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে অনেক চৌম্বকীয় ঘটনার ব্যাখ্যা করা যায় বলিয়া এই তত্ত্ব দৃঢ় সমর্থন লাভ করিয়াছে।

(i) **চৌম্বক আবেশ** (Magnetic Induction) :

একটি চুম্বককে চৌম্বক পদার্থের কাছে আনিলে ইহা অস্থায়ী চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। পদার্থের নিকটতম প্রান্ত অসদৃশ মেরু এবং দূরবর্তী প্রান্ত আবেশী মেরুর সমমেরু সম্পন্ন হইয়া থাকে। আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে ইহা ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে। এই তত্ত্ব অনুসারে চৌম্বক পদার্থের প্রত্যেকটি অণু এক একটি ছোট চুম্বক এবং পদার্থের

অচৌম্বকীয় অবস্থায় চৌম্বক উপাদানগুলি কতকগুলি বদ্ধ শৃঙ্খল গঠন করে। পদার্থের কাছে যখন একটি চুম্বক আনা হয় তখন চৌম্বক উপাদানগুলি চুম্বকের সাধারণ নিয়মে আকৃষ্ট বা বিকর্ষিত হইয়া থাকে। উদাহরণস্বরূপ, পদার্থের কাছে উত্তর মেরু আনিলে ইহার চৌম্বক উপাদানের দক্ষিণ মেরুগুলি আবেশী মেরুর দিকে ঘুরিয়া যাইতে চেষ্টা করে এবং নিকটতম প্রান্তে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হয়। ফলে পদার্থটি আবিষ্ট চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। কোন শক্তিশালী চুম্বককে আনিলে আরো বেশী পরিমাণ চৌম্বক উপাদান চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে ঘুরিয়া যাইবে এবং এই ক্ষেত্রে আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ বেশী হইবে। বাস্তবক্ষেত্রে এই ঘটনাই ঘটিয়া থাকে।

আবেশী মেরু সরাইয়া লইলে চৌম্বক উপাদানগুলি আবার উহাদের নিজ নিজ অবস্থানে ফিরিয়া যায় এবং বদ্ধমুখ শৃঙ্খল গঠন করে। ফলে বস্তুটির চুম্বকত্ব লোপ পায়। পরীক্ষা করিলে এই ধরনের ঘটনাই দেখা যায় এবং চুম্বকের আণবিক তত্ত্ব সমর্থিত হয়।

(ii) **ঘর্ষণ দ্বারা চুম্বকন** (Magnetisation by rubbing) :

একটি চুম্বককে চৌম্বক পদার্থে ঘষিলে চৌম্বক উপাদানগুলি চৌম্বক আবেশের ফলে উপরোক্ত ভাবে ঘুরিয়া যায়। কিন্তু এই ক্ষেত্রে ঘর্ষণকারী চুম্বক ও চৌম্বক উপাদানের দূরত্ব খুব কম বলিয়া বেশী সংখ্যায় বদ্ধমুখ শৃঙ্খল ভাঙ্গিয়া যায় এবং দুই প্রান্তে চৌম্বক উপাদানগুলি মুক্ত মেরুর সৃষ্টি করে। চুম্বকটিকে ঠিক ভাবে আরও কয়েকবার ঘষিলে আরও চৌম্বক উপাদান সমান্তরাল রেখায় সজ্জিত হইয়া যাইবে। ফলে চুম্বকত্বের পরিমাণ আরো বেশী হইবে। সুতরাং ঘর্ষণ দ্বারা চুম্বকনের সৃষ্টিও আণবিক তত্ত্বকে সমর্থন করে।

(iii) **চৌম্বক সংপৃক্তি** (Magnetic Saturation) :

চৌম্বক পদার্থে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে কতকগুলি উপাদান চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে বিন্যস্ত হইবে। যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের শক্তি ক্রমে ক্রমে বাড়ানো হয় তবে আরও চৌম্বক উপাদান চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে বিন্যস্ত হইতে থাকিবে। অবশেষে এমন এক অবস্থা আসিবে যখন আর কোন চৌম্বক উপাদান অবিন্যস্ত থাকিবে না। ফলে চৌম্বক ক্ষেত্র আরও বাড়াইলে আবিষ্ট মেরুর শক্তি আর বাড়িবে না। এই প্রক্রিয়াকে **চৌম্বক সংপৃক্তি** বলে এবং ইহাও পরীক্ষালব্ধ ফল দ্বারা সমর্থিত হইয়া থাকে।

(iv) **চুম্বকের মেরুর সমতা** (Equality of poles of a magnet) :

চুম্বকনের ফলে চৌম্বক উপাদানগুলি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে বিন্যস্ত হইয়া যায় এবং উদাসীন অঞ্চলের উভয় দিকে বিপরীত প্রকৃতির মুক্ত মেরুর সংখ্যা একই হয়।

ফলে চুম্বকের মেরু দুইটি একই শক্তি বিশিষ্ট হইবে। পরীক্ষালব্ধ ফল দ্বারা ইহাও সমর্থিত হয়।

(v) **ক্যুরী বিন্দু** (Curie point) :

কোন চুম্বকের তাপমাত্রা একটি নির্দিষ্ট সীমার উপরে হইলে দেখা যায় যে চুম্বকটি সম্পূর্ণভাবে চুম্বকত্ব হারাইয়াছে। ন্যূনতম যে তাপমাত্রায় এইরূপ ঘটিয়া থাকে তাহাকে **ক্যুরী-বিন্দু** (Curie point) বলে। ইহা বিভিন্ন চৌম্বক পদার্থে বিভিন্ন হয়। লোহার ক্ষেত্রে ইহা প্রায় 750°C। আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে এই প্রক্রিয়াকে নিম্নলিখিত ভাবে ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে :

আমরা জানি, উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পদার্থের আণবিক চাঞ্চল্য বৃদ্ধি প্রাপ্ত হয়। যে কোন চুম্বকে চৌম্বক উপাদানগুলি নির্দিষ্ট দিকে বিন্যস্ত থাকে। ক্যুরী বিন্দুতে আণবিক চাঞ্চল্য এত বেশী হয় যে, চৌম্বক উপাদানগুলি মুক্তভাবে ঘুরিয়া যায় ও অচুম্বকন অবস্থার মত বদ্ধমুখ শৃঙ্খল গঠন করে।

(vi) **যথেচ্ছ ব্যবহারের জন্য চুম্বকত্ব হ্রাস** (Demagnetisation by rough handling) :

যথেচ্ছ ব্যবহারের জন্য চৌম্বক উপাদানের রৈখিক বিন্যাস কিছু পরিমাণ বিনষ্ট হইয়া যায়। ফলে চুম্বকটির চুম্বকত্ব আংশিক ভাবে হ্রাসপ্রাপ্ত হয়।

(vii) **চুম্বকনের ফলে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি** (Magneto-striction) :

একটি চৌম্বক পদার্থকে শক্তিশালী তড়িৎপ্রবাহ দ্বারা চুম্বকে পরিণত করিলে উহার দৈর্ঘ্য সামান্য বাড়িয়া যায়। চুম্বকনের জন্যই এইরূপ ঘটে। চুম্বকনের সময় বদ্ধমুখ শৃঙ্খলগুলি ভাঙ্গিয়া যায় এবং চুম্বকীয় উপাদানগুলি রৈখিকভাবে চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখে বিন্যস্ত হয়। ফলে পদার্থটি দৈর্ঘ্যে সামান্য বাড়িয়া যায়।

2.3. চৌম্বক পদার্থের কয়েকটি বিশেষ ধর্ম (Some special properties of a magnetic substance) :

চৌম্বক প্রবণতা (Susceptibility), ধারণ ক্ষমতা (Retentivity), সহনশীলতা (Coercivity), ভেদ্যতা (Permeability) ইত্যাদি চুম্বকের বিশেষ ধর্ম বলিয়া পরিগণিত হয়।

(i) **চৌম্বক প্রবণতা :** কোন পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা বেশী হইলে পদার্থটিকে সহজে চুম্বকিত করা সম্ভব। নির্দিষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে ইস্পাত এবং কাঁচা লোহা রাখিলে কাঁচা লোহা বেশী পরিমাণে চুম্বকিত হইবে। সুতরাং ইস্পাত অপেক্ষা কাঁচা লোহার চৌম্বক প্রবণতা বেশী। এই কারণেই তড়িৎ চুম্বক তৈয়ারীর ব্যাপারে কাঁচা লোহা

ব্যবহৃত হইয়া থাকে। 73% নিকেল, 22% লোহা এবং 5% তামার সংমিশ্রণে মিউমেটাল (Mu-metal) নামে একটি সংকর ধাতু তৈয়ারী করা হয়। ইহার চৌম্বক প্রবণতা কাঁচা লোহা অপেক্ষাও বেশী।

(ii) **ধারণ ক্ষমতা :** চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে চৌম্বক পদার্থ চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। কিন্তু তাহার পরে চৌম্বকক্ষেত্র সরাইয়া লইলে চৌম্বক পদার্থটির চুম্বকত্বের পরিমাণ কমিয়া যাইবে। যে পদার্থের চুম্বকত্ব হ্রাসের পরিমাণ যত বেশী হইবে তাহার ধারণক্ষমতা তত কম বলিয়া ধরা হয়। কাঁচা লোহা অপেক্ষা ইস্পাতের ধারণক্ষমতা বেশী। এই কারণেই স্থায়ী চুম্বক তৈয়ারীর ক্ষেত্রে ইস্পাত ব্যবহৃত হইয়া থাকে। Alnico নামে একটি সংকর ধাতু আছে। ইহার ধারণক্ষমতাও খুব বেশী।

(iii) **সহনশীলতা :** চৌম্বকক্ষেত্রের জন্য চৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্ব আবিষ্ট হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র সরাইয়া লইলেও পদার্থটি যে চুম্বকত্ব ধরিয়া রাখে কোন কোন ক্ষেত্রে তাহার পরিমাণকে সহজেই কমাইয়া দেওয়া যায়। সেই সমস্ত ক্ষেত্রে চৌম্বক পদার্থের সহনশীলতা কম বলা হয়। কাঁচা লোহা অপেক্ষা ইস্পাতের সহনশীলতা বেশী বলিয়া স্থায়ী চুম্বক তৈয়ারীর কাজে ইস্পাত ব্যবহৃত হইয়া থাকে। Alnico-র সহনশীলতা অনেক বেশী।

(iv) **ভেদ্যতা :** চৌম্বক বলরেখা বিভিন্ন মাধ্যমে বিভিন্ন পরিমাণে বাধা প্রাপ্ত হয়। উদাহরণস্বরূপ, বায়ু মাধ্যম অপেক্ষা কাঁচা লোহার মধ্যে বলরেখা কম বাধা প্রাপ্ত হয়। এই কারণে বায়ু মাধ্যম অপেক্ষা কাঁচা লোহার ভেদ্যতা বেশী বলা হইয়া থাকে। এই ধর্মকে চৌম্বক-আচ্ছাদন তৈয়ারীর সময় কাজে লাগান হয়।

24. **পরা-চৌম্বক, অয়শ্চৌম্বক ও তিরশ্চৌম্বক পদার্থ** (Para-magnetic, Ferro-magnetic and dia-magnetic substances) :

ফ্যারাডে পরীক্ষার সাহায্যে দেখান যে কতকগুলি চৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত হয়, কিন্তু কতকগুলি আবার শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হইয়া থাকে। যে সকল পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত হয় তাহাদিগকে **পরা-চৌম্বক** পদার্থ বলে। কিন্তু যে সকল পদার্থ শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হইয়া থাকে তাহাদিগকে **তিরশ্চৌম্বক** পদার্থ বলে। লোহা, অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল, কোবাল্ট ইত্যাদি পরা-চৌম্বক পদার্থের উদাহরণ এবং অ্যান্টিমনি, বিসমাথ, দস্তা ইত্যাদি তিরশ্চৌম্বক পদার্থ। আবার কতকগুলি পরা-চৌম্বক পদার্থ যথা কাঁচা লোহা, ইস্পাত ইত্যাদি চুম্বক দ্বারা খুব জোরে আকর্ষিত হয়। ইহাদিগকে **অয়শ্চৌম্বক পদার্থ** বলে।

পরা-চৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা অল্প পরিমাণে আকর্ষিত হয় এবং উহাকে অসম

চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করিলে পদার্থটি চৌম্বকক্ষেত্রের দুর্বলতর অংশ হইতে প্রবলতর অংশে গমন করে। সে ক্ষেত্রে পদার্থটির অক্ষ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখী হইয়া থাকিবে। অয়শ্চৌম্বক পদার্থে উপরের ধর্মগুলি বেশীমাত্রায় প্রকটিত হইবে কিন্তু তিরশ্চৌম্বক পদার্থ শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হয় এবং উহা চৌম্বকক্ষেত্রের প্রবলতর অংশ হইতে দুর্বলতর অংশে গমন করে। পরাচৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা 1-এর চেয়ে সামান্য বেশী ; কিন্তু চৌম্বক গ্রাহীতা (susceptibility) 1-এর চেয়ে কম কিন্তু ধনাত্মক। অয়শ্চৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা এবং চৌম্বক গ্রাহীতা 1-এর চেয়ে অনেক বেশী। কিন্তু তিরশ্চৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা 1-এর চেয়ে কম এবং চৌম্বক গ্রাহীতা 1-এর চেয়ে কম ও ঋণাত্মক।

প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষেপে চুম্বকের আণবিক তত্ত্বের বর্ণনা দাও। চুম্বকের আণবিকতত্ত্বের সমর্থনে কয়েকটি ঘটনার উল্লেখ কর। [Give briefly the molecular theory of maguetism. Describe some facts in support of the molecular theory of magnetism.]

2. চুম্বকের একটি মেরুকে বিচ্ছিন্ন করা যায় না কেন ? [A single pole of a magnet can not be isolated—why ?]

3. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ :—(i) চৌম্বক-আবেশ (ii) চৌম্বক সংপৃক্তি (iii) ক্যুরীবিন্দু [Write short notes on :—(i) Magnetic Induction (ii) Magnetic saturation and (iii) Curie point.]

4. চুম্বকের আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চুম্বকের মেরু দুইটি সমান তাহা ব্যাখ্যা কর। [Explain the equality of the poles of a magnet with the help of molecular theory of magnetism.]

5. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ :—(i) ভেদ্যতা, (ii) চৌম্বক-প্রবণতা, (fii) ধারণ-ক্ষমতা (iv) সহনশীলতা [Write short notes on (i) Permeability, (ii) Susceptibility, (iii) Retentivity (iv) Coercivity.

6. পরাচৌম্বক, অয়শ্চৌম্বক এবং তিরশ্চৌম্বক পদার্থ কাহাকে বলে ? তাহাদের বিশেষ ধর্মগুলি কি কি ? [What are the paramagnetic, Ferro-magnetic and dia-magnetic substances ? What are their important properties ?]

তৃতীয় অধ্যায়

চৌম্বক ক্ষেত্র ও চৌম্বক বলরেখা
(Magnetic field and lines of force)

3-1. চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field) :

চুম্বকের চতুর্দিকে যে পর্যন্ত চুম্বকের প্রভাব অনুভব করা যায় তাহাকে চুম্বকের **চৌম্বকক্ষেত্র** বলে। তত্ত্বগতভাবে চুম্বকের এই ক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত। কিন্তু ব্যবহারিক ক্ষেত্রে দেখা যায় যে দূরত্ব বাড়াইলে চৌম্বক প্রভাব এত তাড়াতাড়ি কমিয়া যায় যে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বের বাহিরে এই প্রভাব আর বোঝা যায় না। চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্তৃতি চুম্বকের শক্তির উপর নির্ভরশীল। শক্তিশালী চুম্বকের ক্ষেত্র বেশী দূর পর্যন্ত বিস্তৃত হইবে।

3.2. চৌম্বক বলের সূত্রাবলী (Laws of magnetic field) :

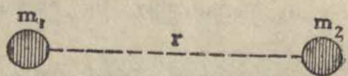
চুম্বকের দুইটি মেরুকে পরস্পর কাছাকাছি রাখিলে উহাদের জন্য যে বল সৃষ্ট হয় তাহা নিম্নলিখিত সূত্রের উপর নির্ভরশীল :

(i) **গুণগত সূত্র** (Qualitative law) :

দুইটি সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং অসমমেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

(ii) **পরিমাণগত সূত্র** (Quantitative law) :

দুইটি মেরুর মধ্যে দূরত্ব একই থাকিলে উহাদের মাধ্য আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল উহাদের মেরুশক্তির গুণফলের সমানুপাতিক হইবে। দুইটি মেরুর শক্তির গুণফল নির্দিষ্ট থাকিলে উহাদের মধ্যে আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল উহাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক হইবে। সূত্রের এই অংশকে **কুলম্বের ব্যস্তানুপাতিক বর্গ সূত্র** (Coulomb's Inverse Square law) বলা হয়।



চিত্র—3 ক

ধর m_1 এবং m_2 মেরু দুইটির শক্তি এবং উহারা r দূরত্বে আছে (চিত্র 3ক)। যদি উহারা F বলে আকর্ষিত বা বিকর্ষিত হয়, তবে

$$F \propto m_1 m_2 \text{ যখন } r \text{ ধ্রুবক।}$$

$\propto \frac{1}{r^2}$ যখন m_1, m_2 ধ্রুবক।

$\therefore\ F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$ যখন সমস্ত রাশিগুলিই পরিবর্তিত হয়।

অথবা, $F = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$ (এখানে μ = ধ্রুবক)

μ-এর মান মেরু দুইটির মধ্যে যে মাধ্যম রহিয়াছে তাহার উপর এবং মাপনপদ্ধতির উপর নির্ভরশীল। ধ্রুবক μ-কে মাধ্যমের **প্রবেশ্যতা** বা **ভেদ্যতা** (Permeability) বলে। বায়ুশূন্য স্থানে সি. জি. এস. পদ্ধতিতে উহার মান 1 হয়। সাধারণভাবে বায়ুর ক্ষেত্রে এবং অন্যান্য অচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রেও μ-এর মান 1 ধরা হয়।

একক মেরু-শক্তি (Unit pole strength) : আমরা জানি,

$$F = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

চুম্বক মেরুশক্তির একক এমনভাবে ধরা হইল যে শূন্য মাধ্যমে কোন একটি মেরুকে সমমাত্রা ও সমধর্মী মেরু হইতে 1 সেমি. দূরে রাখিলে তাহারা পরস্পর 1 ডাইন বলে বিকর্ষিত হইবে। মাপনের এই পদ্ধতি অনুসারে $m_1 = m_2 = 1$; $r = 1$ সেমি. এবং $F = 1$ ডাইন। সুতরাং $\mu = 1$.

$$\therefore\ F = \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

অতএব, **কোন একটি মেরুকে শূন্য মাধ্যমে আর একটি সমমাত্রা ও সমধর্মী মেরু হইতে 1 সেমি. দূরে রাখিলে উহাদের মধ্যে বিকর্ষণী বল যদি 1 ডাইন হয় তবে উহাদিগকে সি. জি. এস. পদ্ধতিতে একক চুম্বক মেরু বলা হয়।** শূন্য মাধ্যমের পরিবর্তে বায়ু মাধ্যমে রাখিলেও মোটামুটি একই ফল পাওয়া যাইবে। সুতরাং সে ক্ষেত্রেও $F = \frac{m_1 m_2}{r^2}$ হইবে। চৌম্বক মেরুশক্তির একককে বৈজ্ঞানিক ওয়েবারের নামানুসারে 1 **ওয়েবার** (Weber) বলা হয়।

3-3. **চৌম্বক প্রাবল্য** (Magnetic Intensity) : কোন বিন্দুতে একক শক্তির মেরু রাখিলে উহা যে বল অনুভব করিবে তাহাকে ঐ বিন্দুতে **চৌম্বক প্রাবল্য** বলা হয়। r দূরত্বে m মেরু শক্তির ফলে চৌম্বক প্রাবল্য F হইলে,

$$F = \frac{m.1}{\mu . r^2} = \frac{m}{\mu r^2}$$

বায়ু মাধ্যমে $\mu = 1$, সুতরাং $F = \frac{m}{r^2}$.

চৌম্বক প্রাবল্য বলবিশেষ ; সুতরাং ইহা একটি ভেক্টর রাশি এবং ইহার মাত্রা ও দিক্-নির্দেশ দুই-ই থাকিবে।

চৌম্বক প্রাবল্যকে ক্ষেত্রের শক্তি নামেও অভিহিত করা যাইতে পারে। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ইহার একককে **ওর্স্টেড্** (Oersted) বলা হয়।

যদি কোন ক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য একই থাকে তাহা হইলে ঐ ক্ষেত্রকে **সমবল চৌম্বক ক্ষেত্র** (Uniform magnetic field) বলে।

3-4. **বল রেখা** (Lines of force) : চুম্বক ক্ষেত্রে একটি বাধাহীন (free) বিচ্ছিন্ন (isolated) উত্তর মেরু রাখিলে ঐ মেরু চুম্বকের উত্তর মেরু দ্বারা বিকর্ষিত এবং দক্ষিণ মেরু দ্বারা আকৃষ্ট হইবে। যদি বিচ্ছিন্ন মেরুটি মুক্তভাবে সঞ্চারমান হয় তবে উহা চৌম্বক ক্ষেত্রের লব্ধি অভিমুখে চলিতে থাকিবে। কিন্তু চুম্বকের জন্য বিভিন্ন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য বিভিন্ন, সুতরাং স্থান পরিবর্তনের সংগে বিচ্ছিন্ন উত্তর মেরুর গতিপথও পরিবর্তিত হইবে। এই গতিপথ অংকিত করা সম্ভব হইলে দেখা যাইবে যে ইহা চুম্বকের উত্তর মেরু হইতে বাহির হইয়া বক্রপথে দক্ষিণ মেরুতে প্রবেশ করিয়াছে। চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি বাধাহীন বিচ্ছিন্ন উত্তর মেরু যে বক্রপথে গমন করিবে তাহাকে **চৌম্বক বলরেখা** (magnetic lines of force) বলে। চুম্বকের বাহিরে বলরেখাগুলি উত্তর মেরু হইতে দক্ষিণ মেরু অভিমুখে গমন করিবে কিন্তু চুম্বকের অভ্যন্তরে বলরেখাগুলি দক্ষিণ মেরু হইতে উত্তর মেরুতে গমন করিবে। সুতরাং বলরেখাগুলি এক একটি আবদ্ধ বক্ররেখা বিশেষ। চুম্বকের ভিতরের রেখা গুলিকে আবেশ রেখা (lines of induction) বলে।

সুতরাং, কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি বাধাহীন বিচ্ছিন্ন উত্তর মেরু যে পথ অবলম্বন করিয়া গমন করে তাহাকে চৌম্বক বলরেখা বলা হয়। চৌম্বক বলরেখার যে কোন বিন্দুতে অংকিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লব্ধি চৌম্বক বলের অভিমুখ নির্দেশ করে।

3-5. **চৌম্বক বলরেখার ধর্ম** (Properties of magnetic lines of force) : (i) চুম্বকের বাহিরে বলরেখা উত্তর মেরু হইতে বাহির হইয়া দক্ষিণ মেরুতে প্রবেশ করে, কিন্তু চুম্বকের অভ্যন্তরে উহা দক্ষিণ মেরু হইতে বাহির হয় এবং উত্তর মেরু অভিমুখে গমন করে। সুতরাং যে কোন বলরেখা এক একটি আবদ্ধ ও অবিচ্ছিন্ন বক্ররেখা বিশেষ।

(ii) বলরেখাগুলি টানকরা স্থিতিস্থাপক সূত্রের ন্যায় অনুদৈর্ঘ্যভাবে (longitudinally) সংকুচিত হয় কিন্তু উহারা আড়াআড়িভাবে (laterally) পরস্পর চাপ দেয়। এই কারণের জন্যই দুইটি বলরেখার মধ্যে বিকর্ষণ ঘটিয়া থাকে।

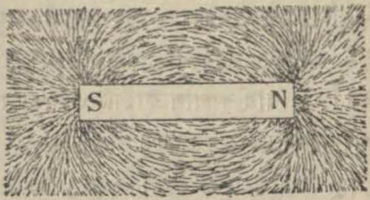
(iii) দুইটি বলরেখা পরস্পরকে কখনও ছেদ করিতে পারে না। কারণ ইহা সম্ভব হইলে ছেদ বিন্দুর মধ্য দিয়া দুইটি বলরেখাতে দুইটি স্পর্শক টানা যাইতে পারিত। সংজ্ঞানুসারে স্পর্শক দুইটি ছেদবিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের লব্ধির দিক নির্দেশ করিবে। কিন্তু একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে কোন লব্ধির দুইটি অভিমুখ থাকিতে পারে না। সুতরাং দুইটি বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করিবে না। বলরেখা চৌম্বক পৃষ্ঠের সহিত লম্বভাবে উত্তর মেরু হইতে বাহির হয় এবং দক্ষিণ মেরুতে প্রবেশ করে।

3-6. **চৌম্বক বলরেখা অংকন পদ্ধতি** (Methods of plotting the magnetic lines of force):

লৌহচুর পদ্ধতি কিংবা কম্পাস্ পদ্ধতি দ্বারা চৌম্বক বলরেখা অংকন করা যাইতে পারে। লৌহচূর পদ্ধতি কেবলমাত্র শক্তিশালী চুম্বকের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য এবং ইহা খুব নির্ভুল নয়। কম্পাস কাঁটা পদ্ধতি কিছুটা আয়াসসাধ্য—কিন্তু নির্ভুল। পরীক্ষার সময় কোন চৌম্বক পদার্থ যথা, লোহার নল ইত্যাদি পরীক্ষা ক্ষেত্রে রাখা সমীচীন নয়।

(i) **লৌহচুর্ণ পদ্ধতি** (Iron filings method):

যে চুম্বকের বলরেখা অংকন করিতে হইবে সেই চুম্বকটিকে একটি সমতল কাচের পাতের নীচে রাখা হইল। পাতটির উপর কিছু লোহার গুঁড়া ছড়াইয়া আস্তে আস্তে টোকা দিলে চুম্বকের জন্য লোহার গুঁড়াগুলি সব আবেশী চুম্বকে পরিণত হইবে এবং আস্তে আস্তে টোকা দেওয়ার ফলে তাহারা চৌম্বক বলরেখা অভিমুখে সজ্জিত হইয়া যাইবে। কখন কখন লোহার গুঁড়া প্যারাফিন কাগজের উপর রাখিয়া দেওয়া হয়। ঐ অবস্থায় প্যারাফিন কাগজটিকে কাচের পাতের উপর রাখা হয়। কাচের উপর আস্তে আস্তে টোকা দিলে লোহার গুঁড়াগুলি বলরেখার অভিমুখ অনুসারে সজ্জিত হইবে। ইহার পর একটু তাপ দিয়া পরে ঠাণ্ডা করিলে চূর্ণগুলি প্যারাফিন কাগজে লাগিয়া যাইবে এবং স্থায়ী আকারে বলরেখাগুলির চিত্র পাওয়া যাইবে (চিত্র 3খ)।

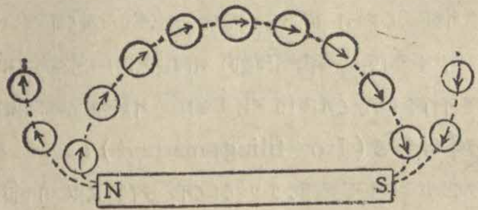


চিত্র—3 খ

(ii) **কম্পাস কাঁটা পদ্ধতি** (Compass needle method):

একটু চুম্বকের কাছে একটি কম্পাস কাঁটা রাখিলে ইহা চুম্বকের ক্ষেত্র ও পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্র উভয়ের দ্বারা প্রভাবিত হয়। কাঁটাটি শেষ পর্যন্ত লব্ধি বলের অভিমুখ

নির্দেশ করে। সুতরাং কোন বিন্দুতে চৌম্বক শলাকা যে দিক নির্দেশ করে তাহাই সেই বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখ বুঝাইবে। যদি শলাকাটি খুব ছোট হয় তবে উহার দুই প্রান্তের অবস্থানকে বলরেখার উপর দুইটি বিন্দু ধরা যাইতে পারে। ইহা হইতে সহজেই বোঝা যাইতেছে যে আমরা যে বলরেখা পাইব তাহা চুম্বক ও পৃথিবীর বলক্ষেত্রের পারস্পরিক সংস্থানের উপর নির্ভর করিবে। এই পদ্ধতিতে দণ্ডচুম্বকের বলরেখা অংকন করিতে একখণ্ড সাদা কাগজকে ড্রয়িং বোর্ডের উপর পিতলের পিন বা আঠার সাহায্যে আটকাইতে হইবে। কাগজের মাঝখানে দণ্ডচুম্বকটিকে চৌম্বক মধ্যরেখা বরাবর রাখিয়া উহার উত্তরমেরুকে উত্তরমুখ করিয়া রাখা হইল। এইবার সূক্ষ্মাগ্র পেন্সিল সাহায্যে চুম্বকটির সীমারেখা টানিতে হইবে [চিত্র 3গ]। ছোট



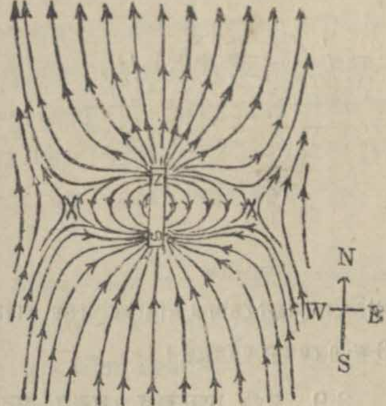
চিত্র—3 গ

একটি চুম্বক শলাকা দণ্ডচুম্বকের উত্তরমেরুর খুব কাছাকাছি রাখা হইল। শলাকার দুই প্রান্তের অবস্থান পেন্সিল সাহায্যে কাগজের উপর দুইটি বিন্দু দিয়া চিহ্নিত করা হয়। এইবার কম্পাস কাঁটাটি এমনভাবে সরাইতে হইবে যেন শলাকার দক্ষিণমেরু পূর্ব অবস্থানের উত্তরমেরুর সহিত মিলিয়া যায়। অন্য প্রান্তের অবস্থান আর একটি বিন্দু দিয়া চিহ্নিত করা হইল। এইভাবে সরাইয়া গেলে পরপর কতকগুলি বিন্দু পাওয়া যাইবে এবং অবশেষে এইরকমের সূচীচুম্বকটি পরীক্ষাধীন চুম্বকটির দক্ষিণ মেরুর নিকট উপস্থিত হইবে। উপরোক্ত বিন্দুগুলিকে অবিচ্ছিন্নভাবে মসৃণ রেখার দ্বারা যোগ করিলে একটি বলরেখা পাওয়া যাইবে। কম্পাস কাঁটাটিকে বিভিন্ন স্থান হইতে যাত্রা করাইলে উপরোক্তভাবে অন্যান্য বলরেখাগুলিও আঁকা সম্ভব হইবে।

3-7. উদাসীন বিন্দু (Neutral point) :

কোন দণ্ডচুম্বকের নিকটে একটি কম্পাস কাঁটা রাখিলে চুম্বক ও পৃথিবীর যুগ্ম চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা উহা প্রভাবিত হয়। চুম্বকের খুব কাছে কাঁটাটিকে রাখিলে ভূ-চুম্বকের প্রভাব দণ্ডচুম্বকের প্রভাবের তুলনায় খুব কম হইবে। সুতরাং এই ভাবে অংকিত বলরেখাগুলি মোটামুটি দণ্ডচুম্বকের জন্যই পাওয়া যাইবে। কাঁটাটি চুম্বক হইতে অনেক দূরে থাকিলে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাধান্য ঘটে। মোটামুটি ভাবে

ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের জন্যই এইস্থানের বলরেখাগুলি পাওয়া যাইবে। এইরূপ চৌম্বকক্ষেত্র অংকনের সময় এমন সব বিন্দু পাওয়া যাইতে পারে যেখানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্র ও চুম্বকের ক্ষেত্র পরস্পরকে প্রশমিত করিবে। সুতরাং এই বিন্দুগুলিতে একটি ছোট কম্পাস কাঁটা রাখিলে উহার কোন চৌম্বক প্রভাব থাকে না। ফলে কাঁটাটি যে কোন দিক্ নির্দেশ করিতে পারিবে। এই বিন্দুগুলিকে **উদাসীন বিন্দু** বলে। বাস্তবক্ষেত্রে দণ্ডচুম্বকের জন্য দুইটি উদাসীন বিন্দু পাওয়া যাইতে পারে।

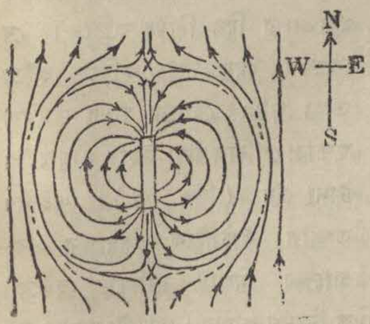


চিত্র—3 ঘ

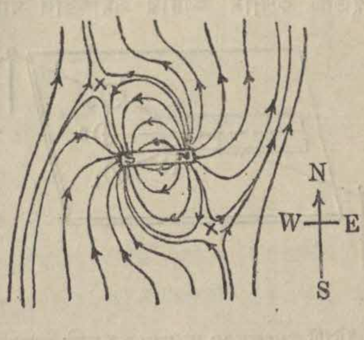
সুতরাং **চৌম্বক বল-ক্ষেত্রের যে বিন্দুতে কোন লব্ধি চৌম্বক প্রাবল্য থাকে না, সেই বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু বলে।**

3-8. চৌম্বক মানচিত্র (Magnetic maps) :

কোন দণ্ডচুম্বক বিভিন্ন অভিমুখে থাকিলে উহার জন্য চৌম্বক মানচিত্র বিভিন্ন হইবে। চুম্বকটির উত্তরমেরু উত্তরমুখী থাকিলে চিত্র 3-ঘ-এর অনুরূপ চৌম্বক মানচিত্র পাওয়া যায়। চিত্র 3-ঙ-তে চুম্বকটির উত্তরমেরুটি দক্ষিণমুখী আছে। চুম্বকের উত্তর-মেরু পূর্ব দিকে থাকিলে যে মানচিত্র পাওয়া যায় তাহা 3-চ চিত্রে দেখান হইয়াছে। চিত্রে × চিহ্নিত বিন্দুগুলি উদাসীন বিন্দুর প্রতীক। প্রতিক্ষেত্রেই দুইটি করিয়া উদাসীন বিন্দু পাওয়া যায়।

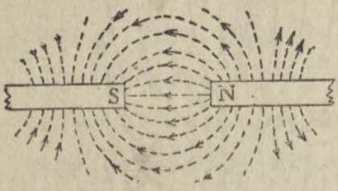


চিত্র—3 ঙ

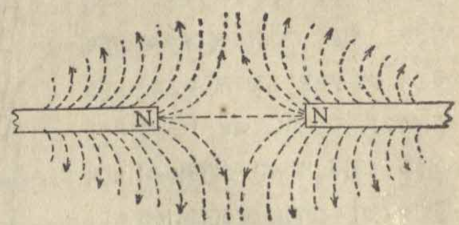


চিত্র—3 চ

দুইটি অসদৃশ মেরু পরস্পর মুখোমুখী থাকিলে এবং সদৃশ মেরু পরস্পরের দিকে



চিত্র—3 ছ

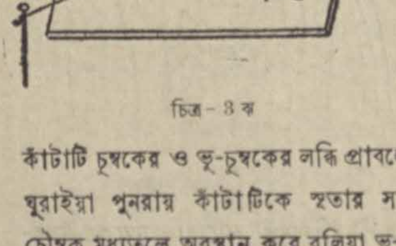


চিত্র—3 জ

থাকিলে যেরূপ চৌম্বক মানচিত্র পাওয়া যাইবে, তাহা যথাক্রমে চিত্র 3-ছ এবং চিত্র 3-জ-এ দেখান হইয়াছে।

3-9. দণ্ড চুম্বকের মেরুর অবস্থান নির্ণয় (Localisation of the poles of a bar-magnet) :

পরীক্ষার টেবিল হইতে সমস্ত রকম চৌম্বক পদার্থ এবং চুম্বক সরাইয়া ফেলিতে হইবে। তারপর ড্রয়িং বোর্ডে এক টুকরা সাদা কাগজকে পিতলের পিন বা আঠা দিয়া আঁটকাইয়া উহার উপর একটি কম্পাস কাঁটা রাখিতে হইবে। এই অবস্থানে কাঁটাটি চৌম্বক মধ্যতল নির্দেশ করে। একগাছি সূতা দুইটি পিতলের হেয়ার পিনে বাঁধিয়া পিন দুইটিকে খাড়াভাবে বোর্ডের বাহিরে এমন ভাবে স্থাপন করিতে হইবে যেন সূতাটি কম্পাস কাঁটার সমান্তরাল থাকে। সুতরাং সূতাটিও ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতলের দিক নির্দেশ করিবে। যে চুম্বকের মেরু নির্ণয় করিতে হইবে তাহা ড্রয়িং বোর্ডের উপর রাখিয়া সূক্ষ্মাগ্র পেন্সিল দ্বারা উহার সীমারেখা টানা হয় (চিত্র 3ঝ)। এইবার কম্পাস কাঁটাটিকে চুম্বকের এক-প্রান্তের নিকটে রাখিতে হইবে।



চিত্র - 3 ঝ

কাঁটাটি চুম্বকের ও ভূ-চুম্বকের লব্ধি প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করিবে। বোর্ডটিকে সাবধানে ঘুরাইয়া পুনরায় কাঁটাটিকে সূতার সমান্তরাল করা হয়। এই অবস্থানে কাঁটাটি চৌম্বক মধ্যতলে অবস্থান করে বলিয়া ভূ-চুম্বকত্বের কোন প্রভাব কাঁটার উপর পড়িবে না। এই অবস্থায় কাঁটাটি চুম্বকের নিকটবর্তী মেরুদ্বারা প্রভাবিত হইবে কারণ চুম্বকের অপর মেরুটি অনেক দূরে থাকায় কাঁটার উপর তাহার প্রভাব উপেক্ষা করা যাইতে পারে। দুইটি বিন্দুর সাহায্যে কাঁটার দুই প্রান্তের অবস্থান চিহ্নিত করা

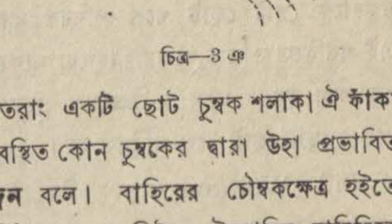
হইল। এইবার কম্পাস কাঁটাটিকে 2নং অবস্থানে রাখা হইল। পূর্বের মত বোর্ডটিকে সাবধানে ঘুরাইয়া কম্পাস কাঁটাটিকে আবার সূতার সমান্তরালে আনা হয় এবং কাঁটাটির প্রান্তদ্বয়ের অবস্থান পেন্সিলের সাহায্যে নির্দিষ্ট করা হয়। কাঁটাটিকে 3নং স্থানে সরাইয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করা হইল। কাঁটাটির বিভিন্ন অবস্থানে যে দুইটি করিয়া বিন্দু পাওয়া গিয়াছে তাহাদিগকে যথাক্রমে যোগ করিয়া বর্ধিত করিলে চুম্বক-প্রান্তের নিকট একটি বিন্দুতে মিলিত হইবে। এই বিন্দুটি একটি মেরুর অবস্থান সূচিত করিবে। ঠিক একই প্রকারে অন্য মেরুর অবস্থানও নির্দিষ্ট করা যাইতে পারে।

কোন্‌টি উত্তর মেরু তাহা ঠিক করিতে হইলে কম্পাস কাঁটাটি চুম্বকের একটি প্রান্তের খুব কাছে রাখিতে হইবে। কাঁটার দক্ষিণ মেরু চুম্বকের দিকে থাকিলে চুম্বকের সেই প্রান্ত উত্তর মেরু হইবে। যদি কাঁটার উত্তর মেরু চুম্বক প্রান্তের দিকে থাকে তবে পরীক্ষণীয় চুম্বকের সেই প্রান্তটি দক্ষিণ মেরু হইবে।

দুই মেরুর মধ্যবর্তী দূরত্বকে **চৌম্বক দৈর্ঘ্য** বলে। চৌম্বক-দৈর্ঘ্য চুম্বকের প্রকৃত দৈর্ঘ্যের সাধারণতঃ 0·84 গুণ।

3-10. চৌম্বক আচ্ছাদন (Magnetic screening) :

কোন চৌম্বক পদার্থ, বিশেষভাবে কাঁচা লোহার টুকরা, চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে প্রায় সব বলরেখাগুলি ঐ চৌম্বক পদার্থে আসিয়া প্রবেশ করিবে। সুতরাং একটি কাঁচা লোহার আংটা চুম্বকের একটি মেরুর কাছে রাখিলে প্রায় সমস্ত বলরেখাগুলিকেই আংটার উপাদানের ভিতর দিয়া যাইতে দেখা যাইবে (চিত্র 3ঞ)। এই কারণে আংটার ফাঁকা অংশ A বাহিরের চৌম্বকক্ষেত্র



চিত্র—3 ঞ

হইতে প্রায় সম্পূর্ণভাবে মুক্ত থাকে। সুতরাং একটি ছোট চুম্বক শলাকা ঐ ফাঁকা অংশের ভিতর রাখিলে আংটার বাহিরে অবস্থিত কোন চুম্বকের দ্বারা উহা প্রভাবিত হইবে না। ইহাকে **চৌম্বক আচ্ছাদন** বলে। বাহিরের চৌম্বকক্ষেত্র হইতে মুক্ত রাখিবার জন্য সুবেদী গ্যালভানোমিটার, অ্যামমিটার ইত্যাদির চারিদিকে পুরু একটি কাঁচা লোহার চৌম্বক আচ্ছাদন দেওয়া হয়। দামী ঘড়িকে anti-magnetic করার জন্য উহার চারিদিকে একটি কাঁচা লোহার চাকতি লাগানো থাকে।

3-11. কোন চুম্বকের মেরু দুইটি সমান শক্তি-বিশিষ্ট (The two poles of a magnet are of equal strength) :

যে কোন দণ্ড চুম্বককে কর্কের উপর রাখিয়া কোন জলের পাত্রে বাধাহীনভাবে ভাসাইয়া দিলে দেখা যাইবে যে কর্কটি কয়েকবার এদিক-ওদিক দুলিয়া এমনভাবে দাঁড়াইবে যেন চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণ মুখে থাকে। চুম্বকটিকে যদি সামান্য নাড়াইয়া দেওয়া হয় সেক্ষেত্রেও কর্কটি কয়েকবার আন্দোলিত হইয়া অবশেষে এমনভাবে স্থির হইবে যেন চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণ মুখে থাকে। তাছাড়া চুম্বকটির উত্তর দিকে বা দক্ষিণ দিকে কোন সরণ ঘটিবে না।

ধর, পরীক্ষার স্থানে ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক অংশ $=H$ এবং চুম্বকটির উত্তরমেরু এবং দক্ষিণমেরু যথাক্রমে m এবং m'-এর সমান। সুতরাং পৃথিবীর জন্য চুম্বকের উত্তরমেরু mH বলে উত্তর দিকে এবং দক্ষিণমেরু $m'H$ বলে দক্ষিণ দিকে আকর্ষিত হইবে। যেহেতু উপরোক্ত পরীক্ষায় চুম্বকটির উত্তর বা দক্ষিণ কোনদিকেই সরণ ঘটে নাই, সেইহেতু $mH=m'H$ বা, $m=m'$. অর্থাৎ, চুম্বকের মেরু দুইটি সমান শক্তি বিশিষ্ট।

চুম্বকটিকে উত্তর-দক্ষিণ মুখ হইতে সামান্য সরাইয়া দিলে উভয় মেরুতে যে দুইটি সমান ও বিপরীতমুখী বল (mH) থাকে তাহারা একটি দ্বন্দ্ব হিসাবে কাজ করে এবং চুম্বকটিকে উত্তর-দক্ষিণ মুখে ফিরাইয়া আনে।

3-12. চুম্বকের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of a magnet) : (i) দিক-নির্ণয়ের কাজে চুম্বক ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(ii) ইস্পাত শিল্পে বড় বড় লোহার টুকরাকে একস্থান হইতে অন্য স্থানে স্থানান্তরের জন্য তড়িচ্চুম্বক ব্যবহৃত হয়। বৃহৎ আকারের আকরিক লোহার টুকরাকে ছোট ছোট খণ্ডে পরিণত করার কাজেও তড়িচ্চুম্বক ব্যবহার করা হয়। এই পদ্ধতিতে তড়িচ্চুম্বকের সাহায্যে আকরটিকে অনেক উঁচুতে তুলিয়া তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করা হয়। ফলে তড়িচ্চুম্বক চুম্বকত্ব হারায় এবং আকরটি উপর হইতে পড়িয়া যায় ও ছোট ছোট খণ্ডে পরিণত হয়।

(iii) Wolfram ধাতুকে টিন হইতে পৃথক করিবার কাজেও চুম্বক শক্তি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(iv) টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, বৈদ্যুতিক ঘণ্টা এবং অনেকানেক স্বয়ং-ক্রিয় যন্ত্রপাতিতে চুম্বক ব্যবহার করা হয়।

বৈদ্যুতিক মোটর ও ডায়নামো প্রভৃতিতেও চুম্বক ব্যবহৃত হয়।

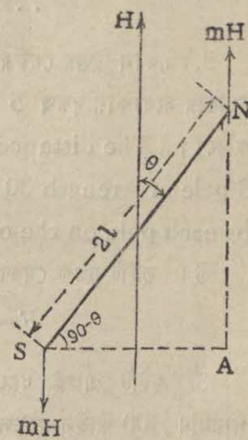
(v) ভূগর্ভে কোনস্থানে লৌহ আকর থাকিলে সেইস্থানের ভূ-পৃষ্ঠে চৌম্বক মূলরাশির মানের ব্যতিক্রম ঘটে। স্বর্ণ, প্লাটিনাম প্রভৃতি আকর থাকিলেও সামান্য ব্যতিক্রম দেখা যায়। চৌম্বক মূলরাশির ব্যতিক্রম লক্ষ্য করিয়া আকরের উপস্থিতি নির্ণয় করা সম্ভব। পেট্রোলিয়াম খনি আবিষ্কারের কাজেও উপরোক্ত নীতি ব্যবহৃত হয়, কারণ দেখা গিয়াছে যে পেট্রোলিয়াম খনির চারিদিকে সাধারণতঃ প্রচুর পরিমাণে ম্যাগনেটাইট ও হেমাটাইট নামক আকরিক লোহা বিদ্যমান থাকে।

3-13. চৌম্বক ভ্রামক (Moment of a Magnet) :

চুম্বকের ক্ষেত্রে ইহা একটি প্রয়োজনীয় রাশি। চুম্বকের কার্যকর দৈর্ঘ্য $2l$, মেরু শক্তি m হইলে চুম্বকের ভ্রামক, $M = m.\,2l = 2ml$ হইবে। চুম্বকের কার্যকর দৈর্ঘ্য এবং মেরু শক্তি সঠিকভাবে নির্ণয় করা সুকঠিন। কিন্তু চুম্বকের ভ্রামক সহজেই নিখুঁতভাবে নির্ণয় করা যায়। এই কারণেই বিভিন্ন সূত্রে চৌম্বক ভ্রামক রাশিটিকে দেখা যায়। চৌম্বক ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি।

3-14. সুষম ক্ষেত্রে রক্ষিত চুম্বকের উপর ক্রিয়াশীল দ্বন্দ্ব : চৌম্বক ভ্রামক (Couple on a magnet in a uniform magnetic field : Magnetic Moment) :

NS চুম্বকটিকে সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা হইল (চিত্র 3ট)। সুষম ক্ষেত্রের প্রাবল্য H এবং চুম্বকটির কার্যকর দৈর্ঘ্য $2l$ এবং মেরুশক্তি m ধরা হইল। চুম্বক এবং সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে আনতকোণের পরিমাণ θ হইলে, চুম্বকের উপর ক্রিয়াশীল দ্বন্দ্বের পরিমাণ নির্ণয় করিতে হইবে। এই অবস্থায় চুম্বকটির N মেরুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে mH বল এবং S মেরুতে বিপরীতমুখে সমান বল mH ক্রিয়া করিবে। এই দুইটি বল সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী বলিয়া একটি দ্বন্দ্ব (couple) গঠন করিবে এবং চুম্বকটিকে স্থির অবস্থানে আনিবার চেষ্টা করিবে। এই দ্বন্দ্বের ভ্রামক = বল × দ্বন্দ্বের বাহু $= m\text{H} \times \text{SA}$.



চিত্র—3 ট

কিন্তু $\text{SA} = \text{SN} \cos(90^\circ - \theta) = \text{SN} \sin\theta = 2l \sin\theta$

$\therefore$ দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= m\text{H} \times 2l \sin\theta = 2ml\,\text{H} \sin\theta$.

$= \text{MH} \sin\theta$ [যেখানে $\text{M} = 2ml$ = চৌম্বক ভ্রামক]

উপরের সমীকরণে $H=1$ এবং $\theta=90^\circ$ বসাইলে দ্বন্দ্বের ভ্রামক $=M=$ চৌম্বক ভ্রামক।

সুতরাং, একক প্রাবল্যের সুষমক্ষেত্রে কোন চুম্বককে বলরেখার অভিলম্বে রাখিতে হইলে যে দ্বন্দ্বের প্রয়োজন তাহা চৌম্বক ভ্রামকের সমান হইবে।

উপরের সমীকরণে $\theta=0$ হইলে চুম্বকটির উপর কোন দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করিবে না। সুতরাং কোন চুম্বককে যে কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে রাখিলে চুম্বকটির উপর কোন দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করিবে না।

উদাহরণ :

1. দুইটি চৌম্বকমেরুর শক্তি 32 এবং 36 একক এবং তাহাদের মধ্যেকার দূরত্ব 12 সেমি. হইলে উহাদের মধ্যে পরস্পর কত বল ক্রিয়া করিবে? [What is the force exerted between two magnetic poles of strength 32 and 36 units at a distance of 12 cm. from one another?]

উঃ। দুইটি চুম্বক মেরুর মধ্যে বল $F=\dfrac{m_1m_2}{d^2}$

এখানে $m_1=32$ একক, $m_2=36$ একক এবং $d=12$ সেমি.

$$\therefore\quad F=\frac{32\times36}{12^2}=8 \text{ ডাইন।}$$

2. কোন উত্তর মেরুর শক্তি 20 একক এবং দক্ষিণ মেরুর শক্তি 30 একক। উহাদের মধ্যেকার দূরত্ব 5 সেমি. হইলে তাহাদের মধ্যে পরস্পর কত বল ক্রিয়া করিবে? [The distance between N-pole of strength 20 units and S-pole of strength 30 units is 5 cm. Calculate the force exerted by each pole on the other.]

উ। দুইটি চুম্বক মেরুর মধ্যে বল

$$F=\frac{20\times30}{5^2}=24 \text{ ডাইন।}$$

3. দুইটি একই ধরনের সমমেরু 16 সেমি. দূরে অবস্থিত। বিকর্ষণী বলের পরিমাণ 100 ডাইন হইলে মেরু দুইটির শক্তি নির্ণয় কর। [If the force of repulsion between two similar poles placed 16 cm. apart is 100 dynes, calculate the strength of each pole.]

উঃ। ধর প্রত্যেক মেরুর শক্তি $=m$

$$\therefore\quad F=\frac{m_1m_2}{d^2}=\frac{m^2}{16^2}=100 \qquad [\because \text{ এখানে } m_1=m_2=m]$$

$$\therefore\quad m=160 \text{ একক।}$$

4. একই ধরনের দুইটি সমমেরু বায়ুমাধ্যমে 4 সেমি. দূরে আছে। বিকর্ষণী বলের পরিমাণ 25 ডাইন হইলে মেরুর শক্তি নির্ণয় কর। [Two exactly similar magnetic poles repel each other with a force of 25 dynes when they are 4 cms. apart in air. Find the pole strength of each.]

উঃ। ধর প্রত্যেক মেরুর শক্তি $=m$

$$\therefore \quad F=\frac{m_1m_2}{d^2}=\frac{m^2}{4^2}=25$$

$$\therefore \quad m=\sqrt{4\times4\times25}=20 \text{ একক।}$$

5. 20 একক শক্তি-বিশিষ্ট দুইটি একই ধরনের মেরুর মধ্যে দূরত্ব 5 সেমি. হইলে তাহাদের মধ্যে কত বল ক্রিয়া করিবে? মেরু দুইটির সংযোগকারী রেখাটিকে আরও 5 সেমি. বাড়াইলে রেখাটির প্রান্ত বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয় কর। [Two similar poles of twenty units each are separated by a distance of 5 cm. What will be the force between them? The line joining the two poles is produced further through a distance of five cms. Find out the intensity at that point.]

উঃ। এখানে প্রত্যেক মেরুর শক্তি $=20$ একক।

$$\therefore \quad F=\frac{m_1m_2}{d^2}=\frac{20\times20}{5^2}=16 \text{ ডাইন।}$$

দ্বিতীয় অংশ:

যে বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য নির্ণয় করিতে হইবে তাহার দূরত্ব মেরু দুইটি হইতে 5 সেমি. ও 10 সেমি. হইবে। মেরু দুইটি সম-প্রকৃতির বলিয়া নির্ণেয় প্রাবল্য

$$=\frac{20}{5^2}+\frac{20}{10^2}=1 \text{ ওর্‌স্টেড্।}$$

প্রশ্নাবলী

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লিখ:—(i) চৌম্বকক্ষেত্র, (ii) চৌম্বক বলরেখা, (iii) উদাসীন বিন্দু এবং (iv) চৌম্বক ভ্রামক [Define the following terms:—(i) Magnetic field, (ii) Magnetic lines of force, (iii) Neutral point and (iv) Magnetic moment.]

2. দুইটি চুম্বক মেরুর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের সূত্রাবলী লিখ এবং একক মেরুর সংজ্ঞা নির্ণয় কর। 15 সেমি. দূরে অবস্থিত দুইটি একই ধরনের মেরুর মধ্যে 36 ডাইন বল ক্রিয়া করে। প্রত্যেকটি মেরুর শক্তি নির্ণয় কর। [State the laws of force between two magnetic poles and hence derive

the definition of a unit pole. Two equal magnetic poles, 15 cm. apart repel each other with a force of 36 dynes. Calculate the strength of each pole.

[**Ans.** 90 C. G. S. units]

3. চৌম্বক বলরেখা বলিতে কি বুঝায় ? চৌম্বক বলরেখার ধর্মাবলী লিখ। [What is understood by magnetic lines of force ? State the properties of magnetic lines of force.]

4. দণ্ড চুম্বকের মেরুর অবস্থান কিরূপে নির্ণয় করিবে তাহার বর্ণনা দাও। [Describe how you will determine the position of the poles of a bar magnet.]

5. কোন চুম্বকের মেরু দুইটি সমান শক্তি বিশিষ্ট ইহা প্রমাণ কর। [Prove that the two poles of a magnet are of equal strength.]

6. সুষমক্ষেত্রে রক্ষিত চুম্বকের উপর ক্রিয়াশীল দ্বন্দ্ব নির্ণয় কর এবং চৌম্বক ভ্রামকের সংজ্ঞা দাও। [Find out the couple acting on a magnet placed in a uniform magnetic field and thence define magnetic moment.]

7. A magnet, 10 cm. long with poles of unit strength is freely suspended in a horizontal uniform field of intensity 0·18 unit. Find the moment of the couple tending to restore the magnet to its original position of rest when it is deflected in a horizontal plane 30° from that position.

[**Ans.** 0·9 C. G. S. units]

8. Two short bar magnets of moments 108 and 192 units are placed along two lines drawn on the table at right angles to each other. Find the intensity of the field at the point of intersection of the lines, the centres of the magnets being respectively 30 and 40 cm. from this point.

[**Ans.** ·01 ডাইন]

চতুর্থ অধ্যায়

ভু-চুম্বকত্ব

(Terrestrial Magnetism)

4-1. পৃথিবীর চুম্বকত্ব (Earth's magnetism) :

নিম্নলিখিত ঘটনাগুলি হইতে সিদ্ধান্ত করা যাইতে পারে যে পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বকের মত আচরণ করে :

(i) বাধাহীনভাবে কোন চুম্বক বা চুম্বক শলাকাকে ঝুলাইয়া দিলে উহার উত্তরমেরু উত্তর দিকে ও দক্ষিণমেরু দক্ষিণদিকে থাকিবে। এই অবস্থান হইতে উহাকে সামান্য সরাইয়া দিলে কয়েকবার আন্দোলনের পর উহা আবার পূর্ব অবস্থানে ফিরিয়া আসিবে। পৃথিবী-পৃষ্ঠের উপর বা পৃথিবী-পৃষ্ঠের নিকট সর্বত্রই ইহা ঘটিয়া থাকে। কিন্তু নির্দিষ্ট মেরু সম্পন্ন কোন চুম্বকের দ্বারা আকর্ষণের ফলেই এইরূপ ঘটনা সম্ভব হইতে পারে। সুতরাং সিদ্ধান্ত করা যাইতে পারে যে, পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বকের মত আচরণ করে।

ইংলণ্ডের রাণী এলিজাবেথের গৃহ-চিকিৎসক ডাঃ গিলবার্ট প্রথম এই ঘটনা লক্ষ্য করেন এবং পৃথিবী যে একটি বিরাট চুম্বক এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন। তিনি এই সিদ্ধান্তের সত্যতা প্রদর্শনের জন্য পৃথিবীর আকারের অনুরূপ একটি লৌহ গোলককে চুম্বকন করিয়া উহার নিকট ছোট ছোট চুম্বক শলাকা রাখিয়া দেন। তিনি দেখিতে পান যে চুম্বক গোলকের বিভিন্ন স্থানে চুম্বক শলাকার আচরণ এবং পৃথিবী পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে চুম্বক শলাকার আচরণের মধ্যে সাদৃশ্য রহিয়াছে। সুতরাং পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বকের মতো আচরণ করে।

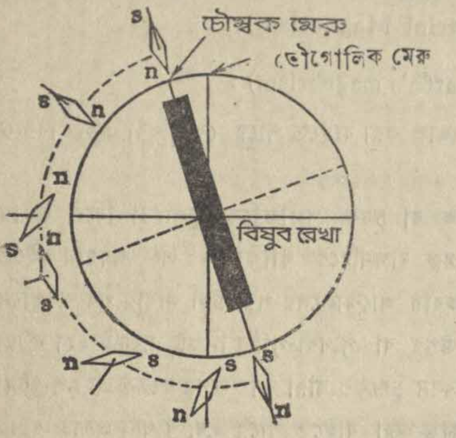
(ii) কোন লৌহদণ্ডকে দীর্ঘদিন ধরিয়া উত্তর-দক্ষিণ দিকে বা খাড়াভাবে রাখিলে উহা সামান্য চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হইয়াছে দেখা যায়। পৃথিবীর উত্তরমুখী প্রান্তটি উত্তর মেরু এবং অপর প্রান্তটি দক্ষিণ মেরুতে পরিণত হয়।

(iii) পরীক্ষার সাহায্যে জানা যায় যে বদ্ধমুখ কোন তারের কুণ্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে ঘুরাইলে উহার মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ ঘটিয়া থাকে। উপযুক্ত কোন বদ্ধ তারের কুণ্ডলীকে পৃথিবীর যে কোন স্থানে ঘুরাইলেও তারের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ সংঘটিত হইতে দেখা যায়।

পৃথিবীকে একটি বিরাট চুম্বক এবং উহার চৌম্বক মেরুদ্বয় ভৌগোলিক মেরুদ্বয়ের নিকট অবস্থিত ধরিয়া লইলে উপরোক্ত ঘটনাগুলি ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে।

পৃথিবীর চুম্বকটি ভৌগোলিক অক্ষের সহিত প্রায় 18° কোণ উৎপন্ন করে এবং ভূকেন্দ্রের নিকট দিয়া গমন করে।

আমরা জানি অসম-মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে। সুতার সাহায্যে একটি চুম্বক ঝুলাইলে ইহার উত্তর মেরু পৃথিবীর সুমেরুর নিকট অবস্থিত চৌম্বক মেরু দ্বারা আকৃষ্ট হয়। সুতরাং পৃথিবীর উত্তরদিকে অবস্থিত মেরুকে দক্ষিণ মেরু বলা উচিত। কিন্তু ইহাকে সাধারণতঃ উত্তর মেরু নামেই অভিহিত করা হইয়া থাকে। সুতরাং চুম্বকের উত্তর মেরু পৃথিবীর উত্তর মেরু দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং দক্ষিণ মেরু দ্বারা বিকর্ষিত হইয়া থাকে। পৃথিবীর চৌম্বক মেরুদ্বয়কে যোগ করিলে যে রেখা পাওয়া যাইবে তাহাকে **পৃথিবীর চৌম্বক অক্ষ** বলা হয়।



চিত্র—4 ক

অনেক ক্ষেত্রে পৃথিবীর উত্তর মেরুকে **নীল মেরু** (blue pole) এবং দক্ষিণ মেরুকে **লাল মেরু** (red pole) নামে অভিহিত করা হয়।

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে পৃথিবীর ভৌগোলিক মেরু এবং চৌম্বক মেরু একই স্থানে অবস্থিত নহে। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে পৃথিবীর উত্তর মেরু ক্যানাডার উত্তর-দিকে বুথিয়া উপদ্বীপে এবং দক্ষিণ মেরু অ্যান্টার্কটিকা মহাদেশের দক্ষিণ ভিক্টোরিয়া অঞ্চলে অবস্থিত। ভৌগোলিক সুমেরু ও কুমেরু হইতে তাহাদের দূরত্ব যথাক্রমে প্রায় 1500 মাইল ও 1400 মাইল।

এই প্রসংগে বলা উচিত যে ভূ-চুম্বকত্ব এবং উহার উৎস সম্বন্ধে বহু মতবাদ প্রচলিত আছে। কিন্তু আজ পর্যন্ত কোন তত্ত্বই সঠিকভাবে সমস্ত ঘটনাবলী ব্যাখ্যা করিতে সমর্থ হয় নাই। তোমরা বড় হইলে এই বিষয়ে আরও অনেক জিনিস জানিতে পারিবে।

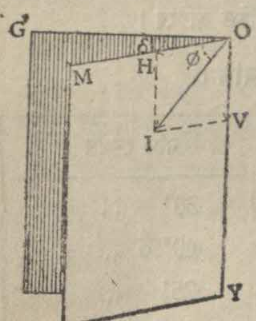
4-2. **পৃথিবীর চৌম্বক মূলরাশি** (Magnetic elements of Earth)**:** এককশক্তির উত্তর মেরুকে পৃথিবী-পৃষ্ঠের কোন স্থানে রাখিলে উহা পৃথিবীর উত্তর মেরু দ্বারা আকৃষ্ট এবং দক্ষিণ মেরু দ্বারা বিকর্ষিত হইবে। এই দুই বলের লব্ধি ঐ স্থানের চৌম্বক প্রাবল্যের মাত্রা ও দিক্-নির্দেশ সূচিত করিবে। সাধারণতঃ মোট প্রাবল্য ঐ স্থানের অনুভূমিক তলের সহিত একটি কোণ উৎপন্ন করিয়া থাকে।

চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic meridian) : কোন স্থানে মুক্ত অবস্থায় ঝুলানো চুম্বকের মেরু দুইটির ভিতর দিয়া অঙ্কিত কাল্পনিক অভিলম্ব তলকে ঐ স্থানের **চৌম্বক মধ্যতল** বলে। এই অভিলম্ব তলটি পৃথিবীর চৌম্বক মেরুদ্বয়ের ভিতর দিয়াও গমন করিবে।

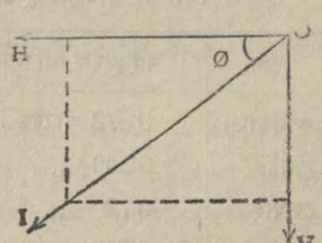
ভৌগোলিক মধ্যতল (Geographical meridian) : কোনস্থানে পৃথিবীর ভৌগোলিক মেরুদ্বয়ের ভিতর দিয়া অঙ্কিত কাল্পনিক অভিলম্ব তলকে ঐ স্থানের **ভৌগোলিক মধ্যতল** বলা হয়।

যে তিনটি রাশি জানিতে পারিলে কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ সম্পূর্ণভাবে জানা সম্ভব তাহাদিগকে **পৃথিবীর চৌম্বক মূলরাশি** বলে। তাহারা যথাক্রমে (i) **বিনতি** (Dip or inclination), (ii) **অনুভূমিক প্রাবল্য** (Horizontal Intensity) এবং (iii) **বিচ্যুতি** (Declination)।

(i) **বিনতি** (Dip or inclination) : কোন স্থানে ভূ-চুম্বকত্বের মোট প্রাবল্য ঐ স্থানের অনুভূমিক তলের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে ঐ স্থানের **বিনতি** বলে। যে কোন স্থানে একটি চুম্বকশলাকাকে মুক্ত অবস্থায় ভারকেন্দ্র হইতে সূতা দ্বারা ঝুলাইয়া দিলে উহা মোট প্রাবল্যের দিকে অবস্থান করিবে। চুম্বকটি ঐ স্থানের অনুভূমিক তলের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করিবে তাহাকেই ঐ স্থানের বিনতি বলা হয়। ইহা সাধারণতঃ ϕ দ্বারা সূচিত হইয়া থাকে (চিত্র 4 খ)। চৌম্বক



চিত্র—4 খ



চিত্র—4 গ

বিষুবরেখার উত্তরে চুম্বকটির উত্তর মেরু নীচের দিকে ঝুঁকিয়া থাকিবে, কিন্তু চৌম্বক বিষুবরেখার দক্ষিণে চুম্বকটির দক্ষিণ মেরু নীচের দিকে ঝুঁকিয়া থাকিবে। পৃথিবীর চৌম্বক মেরুদ্বয়ের অবস্থানে বিনতি 90° হইবে। চৌম্বক বিষুবরেখাতে ইহার পরিমাণ 0 হইবে। চিত্রে OGY ভৌগোলিক মধ্যতল, OMY চৌম্বক মধ্যতল এবং OI চুম্বকটির দিক নির্দেশ সূচিত করিতেছে।

(ii) **অনুভূমিক প্রাবল্য** (Horizontal Intensity) : কোন স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্যকে চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশে বিভক্ত করা হইল (চিত্র 4 গ)। চৌম্বক মধ্যতলে ভূ-চুম্বকের মোট প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের **অনুভূমিক প্রাবল্য** বলা হয়। ইহা সাধারণতঃ H দ্বারা সূচিত হইয়া থাকে। অনুরূপভাবে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশকে ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের **উল্লম্ব প্রাবল্য** (Vertical Intensity) বলে। ইহা সাধারণতঃ V দ্বারা সূচিত হয়।

কোন স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য I এবং বিনতি কোণ ϕ হইলে অনুভূমিক প্রাবল্য, $H = I \cos \phi$ এবং উল্লম্ব প্রাবল্য, $V = I \sin \phi$.

উভয় সমীকরণের বর্গের যোগফল লইলে

$H^2 + V^2 = I^2 \ (\cos^2\phi + \sin^2 \phi) = I^2$.

একটিকে অপরটির দ্বারা ভাগ করিলে $\tan \phi = \frac{V}{H}$

(iii) **বিচ্যুতি** (Declination) : কোন স্থানের চৌম্বক মধ্যতল ভৌগোলিক মধ্যতলের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে ঐ স্থানের **বিচ্যুতি** বলে। ইহা সাধারণতঃ δ দ্বারা সূচিত হইয়া থাকে।

4-খ চিত্রে GOY ভৌগোলিক মধ্যতল এবং MOY চৌম্বক মধ্যতল ;
এই দুই তলের মধ্যে যে কোণ (δ) তাহাই বিচ্যুতি সূচিত করিবে।

4-3. বিভিন্ন স্থানের ভূ-চৌম্বক উপাদানের মান।

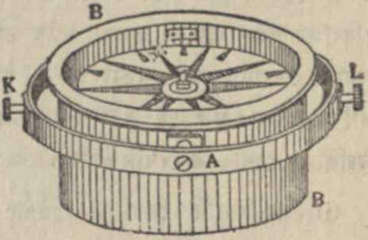
স্থান	অনুভূমিক প্রাবল্য	চ্যুতি কোণ	বিনতি কোণ
কলিকাতা	0·372 অরষ্টেড	44′ E	30° N
দিল্লী	0·340 ,,	2°2′ E	40°56′ ,,
বোম্বাই	0·72 ,,	32′ E	25° ,,
মাদ্রাজ	0·369 ,,	10′ W	34°37′ ,,
লণ্ডন	0·180 ,,	10° W	67° ,,

4-4. নৌকম্পাস (Mariners' Compass) :

সমুদ্র বক্ষে জাহাজের গতির দিক নির্ণয় করিবার জন্য নাবিকেরা নৌ-কম্পাস্ ব্যবহার করিয়া থাকেন। নৌ-কম্পাসে এক বা একাধিক চুম্বক-শলাকা সমান্তরাল ভাবে একটি গোলক চাকৃতির নীচে আটকানো থাকে। চুম্বক শলাকাটি ঘুরিলে

চাকৃতিটি ঘুরিয়া যাইবে। চাকতিটি ডিগ্রীতে অংশাংকিত এবং উহার পরিধি বত্রিশটি সমান ভাগে বিভক্ত থাকে। এই ভাগগুলিকে কম্পাসের বিন্দু বলা হয়। চাকৃতির যে ভাগটি চুম্বক শলাকার উত্তর মেরুর ঠিক উপরে থাকে তাহাকে একটি মুকুট(crown) দিয়া চিহ্নিত করা হয়। ইহা সর্বদাই পৃথিবীর উত্তর মেরু অভিমুখে থাকিবে। অর্ধ গোলাকৃতি বাটি BB-এর মাঝখানে একটি তীক্ষ্ণাগ্র দণ্ড খাড়াভাবে আটকানো থাকে (চিত্র 4 ব)। শলাকার ভারকেন্দ্রে একটি অ্যাগেট (agate) টুকরার সাহায্যে শলাকা ও চাকতিকে উপরোক্ত দণ্ডের উপর এমন ভাবে বসানো হয় যে তাহারা যেন বাধাহীনভাবে অনুভূমিকতলে নড়াচড়া করিতে পারে।

শলাকাটি সর্বদাই অনুভূমিক তলে না থাকিলে নির্ভুল ফল পাওয়া যাইবে না। জাহাজটি দুলিলেও যাহাতে শলাকাটি না দোলে তাহার জন্য একটি বিশেষ ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয়; ইহাকে গিম্বল ব্যবস্থা (Gimbal arrangement) বলে। এই ব্যবস্থায় সমগ্র যন্ত্রটিকে একটি অনুভূমিক গোল আংটার সহিত AB-বিন্দুতে আটকাইয়া AB-এর সমকোণে অবস্থিত K,L বিন্দু হইতে ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। AB এবং KL পরস্পর সমকোণে থাকার জন্য জাহাজটি দুলিলেও চুম্বক শলাকা সর্বদাই অনুভূমিক সমতলে থাকিবে।



চিত্র—4 ব

কোন স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল নির্ণয় করিতে হইলে চৌম্বক মানচিত্র হইতে ঐ স্থানের বিচ্যুতি বাহির করিতে হইবে। ইহার পরিমাণ θ° পূর্ব বা পশ্চিম হইলে ভৌগোলিক উত্তর মেরু মুকুট চিহ্নিত দাগের θ° পশ্চিম বা পূর্ব দিকে থাকিবে।

জাহাজ কোন্ দিকে চলিতেছে তাহা নির্ণয় করিবার জন্য অর্ধ গোলাকৃতি বাটির উপর দুইটি বিন্দু চিহ্নিত করা থাকে। এই দুইটি বিন্দুর সংযোজক সরলরেখা জাহাজের দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল হইবে। সংযোজক রেখার সহিত চুম্বক শলাকা যে কোণ উৎপন্ন করে তাহা জানিয়া জাহাজ কোন্ দিকে চলিতেছে তাহা নির্ণয় করা সম্ভব হইবে।

চুম্বক শলাকাটি খুব জোরালো কিন্তু ছোট দৈর্ঘ্যের হওয়া উচিত। এই কারণে একটি শলাকার পরিবর্তে অনেকগুলি ছোট ছোট শলাকাকে সমান্তরাল ভাবে রাখা হয়। শলাকার অযথা দোলন নিবারণের জন্য শলাকা ও চাকতিটিকে জল ও কোহলের মিশ্রণের মধ্যে ডুবাইয়া রাখিতে পারিলে ভালো হয়। সে ক্ষেত্রে চাকতিটি অভ্র নির্মিত হওয়া বাঞ্ছনীয়।

জাহাজের বিভিন্ন অংশ লোহার দ্বারা নির্মিত। সুতরাং ইহারাও চুম্বক শলাকাকে প্রভাবিত করিবে। চুম্বক শলাকার উপর জাহাজের প্রভাব প্রশমিত করিবার জন্য শলাকার চারিপাশে উপযুক্তভাবে কয়েকটি চুম্বক রাখা হয়। জাহাজ ছাড়িবার পূর্বেই এই ধরনের ত্রুটি সংশোধন করা হইয়া থাকে।

4-5. **চৌম্বক মানচিত্র** (Magnetic Maps)

পৃথিবীর চৌম্বক মূলরাশিগুলির নাম বিনতি, অনুভূমিক প্রাবল্য এবং বিচ্যুতি। ইহাদের মান পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হইয়া থাকে। যে মানচিত্রে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্যগুলি দেখান হয় তাহাকে **চৌম্বক মানচিত্র** বলে। কোন নির্দিষ্ট স্থানে চৌম্বক উপাদানগুলির পরিমাণ সময় ভেদেও ধীরে ধীরে পরিবর্তিত হইয়া যায়। সুতরাং সঠিক তথ্য জানিবার জন্য সময়ের সহিত পরিবর্তিত মানচিত্র তৈয়ারী করা অত্যাবশ্যক। নাবিকদের জন্য এবং ভূগর্ভস্থ খনিজ পদার্থ আবিষ্কার করার জন্য এই ধরনের মানচিত্র বিশেষ প্রয়োজনীয়। চৌম্বক মানচিত্রে নিম্নলিখিত রেখাগুলি দেখান হইয়া থাকে :

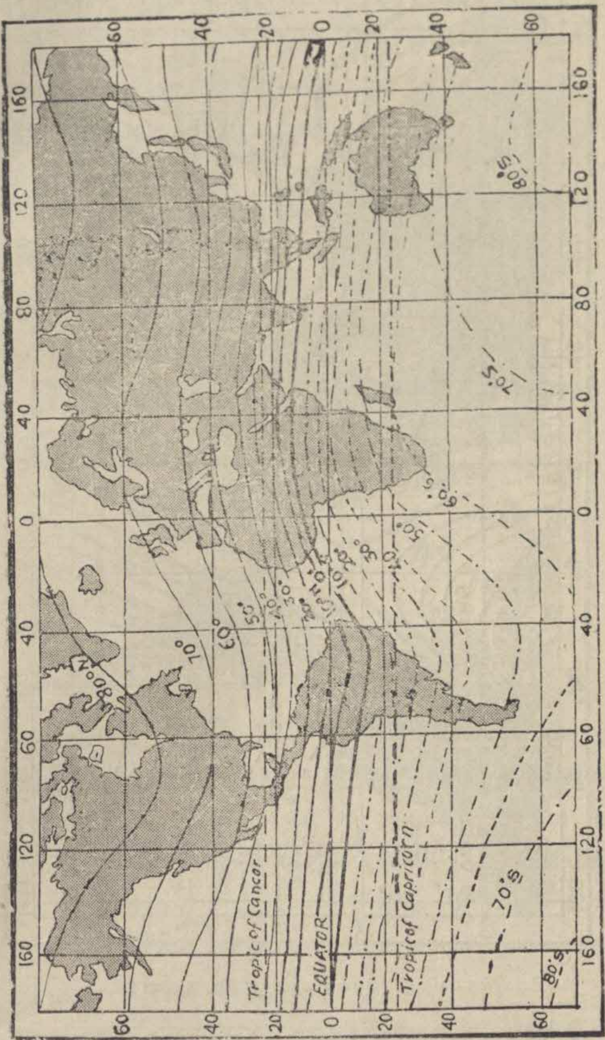
(i) সম-বিচ্যুতি রেখা (Isogonic lines) : একই বিচ্যুতি-বিশিষ্ট ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানকে কোন রেখা দ্বারা যুক্ত করিলে সেই রেখাকে সমবিচ্যুতি রেখা বলা হয়। ভূ-পৃষ্ঠের যে সমস্ত স্থানে বিচ্যুতির পরিমাণ শূন্য তাহাদিগকে কোন রেখা দ্বারা যুক্ত করিলে যে রেখা পাওয়া যাইবে তাহাকে **অবিচ্যুতি রেখা** (Agonic line) বলা হয়।

(ii) সম-বিনতি রেখা (Isoclinic line) : ভূপৃষ্ঠের যে সমস্ত স্থানে বিনতি সমান তাহাদেরকে কোন রেখা দ্বারা যুক্ত করিলে যে রেখা পাওয়া যাইবে তাহাকে **সমবিনতি রেখা** বলা হয়। বিনতির পরিমাণ 0° হইলে সংযোগকারী রেখাকে **অবিনতি রেখা** (Aclinic line) বলে। চৌম্বক নিরক্ষ-রেখার বিনতির পরিমাণ 0°, সুতরাং ইহা একটি অবিনতি রেখা।

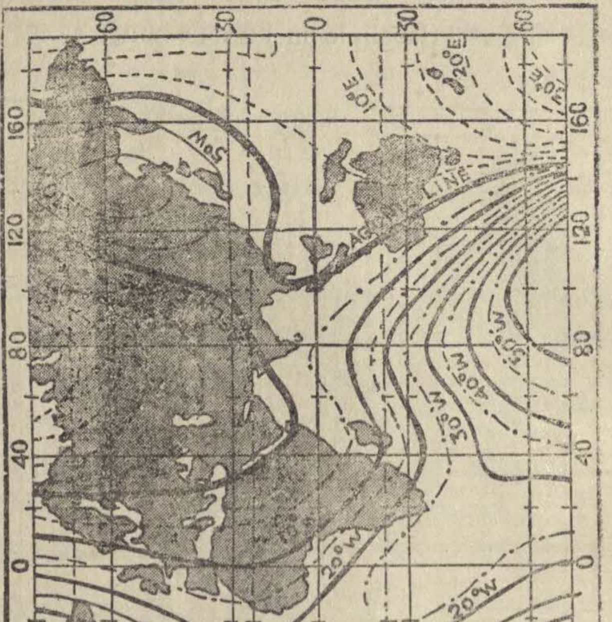
(iii) সমানুভূমিক রেখা (Isodynamic line) : ভূপৃষ্ঠের যে সমস্ত স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য সমান তাহাদিগকে কোন রেখা দ্বারা যুক্ত করিলে সমানুভূমিক রেখা পাওয়া যাইবে।

(iv) ডুপেরি-র রেখা (Duperrey's line) : কোন স্থানে চৌম্বক মধ্যরেখাকে ডুপেরি-র রেখা বলা হয়। এই রেখাগুলি উত্তর ও দক্ষিণ চৌম্বক মেরুতে মিলিত হয়।

4-ঙ. নং 4-চ. নং চৌম্বক মানচিত্রে যথাক্রমে সমবিচ্যুতি রেখা (Isogonic line) এবং সমবিনতি রেখা (Isoclinic line) দেখান হইয়াছে।



চিত্র—4 ঙ : চৌম্বক মানচিত্র : সমবিচ্যুতি রেখা



চিত্র—4 চ : চৌম্বক মানচিত্র : সমবিনতি রেখা

4-6. চৌম্বক মানচিত্রের ব্যবহার (Uses of Magnetic maps) :

চৌম্বক মানচিত্র নাবিকদের বিশেষ কাজে লাগে, তাছাড়া ভূগর্ভে কোন খনিজ পদার্থ পেট্রোলিয়াম ইত্যাদি আছে কিনা তাহাও মোটামুটিভাবে জানা যায়। এই সমস্ত স্থানে চৌম্বক উপাদানগুলির পরিমাণ অনিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হইয়া থাকে।

4-7. **চৌম্বক ঝঞ্ঝা** (Magnetic storm) : সময় সময় ভূপৃষ্ঠের সকল স্থানে চৌম্বক উপাদানগুলির মান আকস্মিকভাবে সবিশেষ পরিবর্তিত হইয়া যায়। এই ধরনের ঘটনাকে **চৌম্বক ঝঞ্ঝা** বলা হয়। সাধারণতঃ সৌর কলঙ্কের আবির্ভাব, মেরু-জ্যোতির (aurora borealis) আবির্ভাব, ভূমিকম্প, আণবিক বিস্ফোরণ ইত্যাদি কারণে চৌম্বক ঝঞ্ঝা ঘটিয়া থাকে। সাধারণতঃ সৌর কলঙ্ক ও মেরু-জ্যোতির সময় প্রচুর পরিমাণ তড়িতাহিত কণিকা প্রচণ্ড বেগে পৃথিবীর দিকে ধাবিত হয়। ইহার ফলে চৌম্বক উপাদানগুলির মান আকস্মিকভাবে পরিবর্তিত হইয়া যায়। চৌম্বক ঝঞ্ঝার সময় টেলিভিসন্, বেতার-সংযোগ ইত্যাদিতে ব্যাঘাত সৃষ্ট হইতে দেখা যায়।

উদাহরণ :

১। কলিকাতায় অনুভূমিক প্রাবল্যের পরিমাণ 0·37 ওর্‌ষ্টেড্ এবং বিনতির পরিমাণ 30° হইলে ঐ স্থানের মোট প্রাবল্য এবং উল্লম্ব প্রাবল্য নির্ণয় কর। (The horizontal intensity at Calcutta is 0·37 Oersted and the dip is 30°. Calculate the intensity and also the vertical intensity at that place.)

উঃ। আমরা জানি,

মোট চৌম্বক প্রাবল্য $I=\frac{H}{\cos\phi}=\frac{0{\cdot}37}{\cos 30^\circ}=0{\cdot}43$ ওর্‌ষ্টেড্

উল্লম্ব প্রাবল্য, $V=H.\ \tan\phi.$

$=0{\cdot}37.\ \tan 30^\circ=0{\cdot}21$ ওর্‌ষ্টেড্।

২। কোন নির্দিষ্ট স্থানে অনুভূমিক প্রাবল্য এবং উল্লম্ব প্রাবল্য সমান হইলে সেই স্থানে বিনতি কত হইবে ? (At a particular place horizontal intensity is equal to vertical intensity. What will be the dip at that place ?

উঃ। বিনতির পরিমাণ ϕ° হইলে

$\tan\phi=V/H=1=\tan 45^\circ. \qquad \therefore\ \phi=45^\circ.$

৩। লণ্ডনে মোট প্রাবল্য 0·46 ওর্‌ষ্টেড্ এবং উল্লম্ব প্রাবল্য 0·18 ওর্‌ষ্টেড্ হইলে বিনতি নির্ণয় কর। (At London the total intensity is 0·46 Oersted and vertical intensity is 0·18 Oersted. Calculate the dip.)

উঃ। বিনতির পরিমাণ ϕ° হইলে,

$$\cos\phi=\frac{H}{I}=\frac{0{\cdot}18}{0{\cdot}46}=0{\cdot}391=\cos 67^\circ$$

$$\therefore\ \ \phi=67^\circ.$$

প্রশ্নাবলী

1. পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক—ইহা কিরূপে প্রমাণ করিবে ? [How do you prove that the earth is a huge magnet ?]

2. কোনস্থানে চৌম্বক উপাদানগুলির নাম লিখ এবং তাহাদের সংজ্ঞা দাও। নিম্নলিখিত উক্তিদ্বারা কি বুঝায় তাহা লিখ (i) কলিকাতায় অনুভূমিক প্রাবল্য 0·372 একক এবং (ii) কলিকাতায় বিনতির পরিমাণ 30°N [Name and find the magnetic elements at a place. What do you mean by the statement that (i) the earth's horizontal intensity at calcutta is 0·372 unit and (ii) the magnetic dip at Calculta is 30°N ?]

3. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা দাও :—(i) বিনতি (ii) অনুভূমিক প্রাবল্য, (iii) বিচ্যুতি, (iv) সমবিচ্যুতি রেখা, (v) সমবিনতি রেখা, (vi) ডুপেরি-র রেখা। [Define the following quantities :—(i) Dip, (ii) horizontal intensity, (iii) Declination, (iv) Isogonic line, (v) Isoclinic line, (vi) Duperrey's line.]

4. নৌ-কম্পাসের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্য প্রণালী ব্যাখ্যা কর। [Describe a Mariners' compass and explain its function.]

5. চৌম্বক মানচিত্র বিষয়ে সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ। ইহার উপযোগিতা কি ? [Write a short note on Magnetic Maps and name its usefulness.]

6. নিউইয়র্কে অনুভূমিক প্রাবল্য 0·18 ওরস্টেড্ এবং বিনতির পরিমাণ 72° হইলে উল্লম্ব প্রাবল্য নির্ণয় কর। [At Newyork horizontal intensity is 0·18 Oersted and dip is 72°. Find out the vertical intensity.] [Ans : I=·58 ; V=·55]

7. কোন স্থানে অনুভূমিক প্রাবল্য মোট প্রাবল্যের অর্ধেক হইলে ঐ স্থানের বিনতি কত হইবে ? [At a particular place the horizontal intensity is half of the total intensity. What will be the dip ?] [Ans : 60°]

প্রথম অধ্যায়

স্থির-বিদ্যুৎ ও তড়িতাবেশ

(Statical Electricity & Electrostatic Induction)

1-1. **ঘর্ষণের দ্বারা তড়িৎ সৃষ্টি :** পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে কতকগুলি বস্তুকে ঘর্ষণ করিলে উহারা ছোট ছোট বস্তু যথা, কাগজের টুকরা, শোলা ইত্যাদিকে আকর্ষণ করে। শীতকালে গাটাপার্চার বা সেলুলয়েডের চিরুনি দিয়া চুল আঁচড়াইলে এক রকমের শব্দ হয় এবং চিরুনিটি ছোট ছোট কাগজের টুকরা ইত্যাদিকে আকর্ষণ করিতে পারে। যে কারণের জন্য এই বিশেষ ধর্মের বিকাশ ঘটে তাহাকে তড়িৎ (electricity) বলে এবং ছোট ছোট বস্তুগুলি তড়িতাহিত (electrified) হইয়াছে বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ কাচ, এবোনাইট বা রজনের একটি দণ্ডকে ফ্লানেল, সিল্ক্ বা অন্য কোন পদার্থ দ্বারা ঘষিলে দণ্ডটি ছোট ছোট কাগজের টুকরা ইত্যাদিকে আকর্ষণ করে।

প্রায় 2500 বৎসর আগে গ্রীকদেশের পণ্ডিত থেল্স আবিষ্কার করেন যে পাইন গাছের শক্ত আঠা অ্যামবার (amber)-কে ঘষিলে উহা আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা লাভ করে। গ্রীকভাষায় amber-এর প্রতিশব্দ 'electron' এবং প্রকৃত পক্ষে 'electricity' শব্দটি 'electron' হইতেই আসিয়াছে।

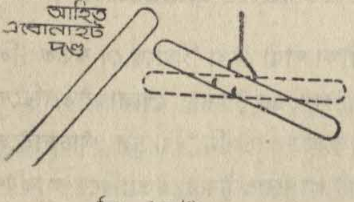
ঘর্ষণের দ্বারা উৎপন্ন বিদ্যুৎকে **ঘর্ষণজাত বিদ্যুৎ** বলে। যেহেতু এই ধরনের বিদ্যুৎ সাধারণতঃ একস্থান হইতে অন্যস্থানে প্রবাহিত হয় না সেইহেতু ঘর্ষণজাত বিদ্যুৎকে স্থির বিদ্যুৎ (Statical electricity)-ও বলা হয়।

1-2. **দুই প্রকারের বিদ্যুৎ** (Two kinds of electricity) **:**

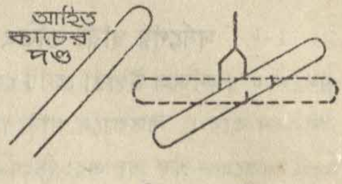
একটি শুষ্ক কাচের দণ্ডকে সিল্ক্ দ্বারা ঘষিয়া একটি শোলার বলের কাছে আনিলে বলটি আকর্ষিত হইবে। ফ্লানেল দ্বারা একটি এবোনাইট দণ্ডকে ঘষিয়া শোলার বলের কাছে আনিলেও বলটি আকর্ষিত হয়। পরীক্ষার দ্বারা দেখা যায় যে, যে কোন তড়িতাহিত দণ্ডকে শোলার বলের কাছে আনিলে উহাদের মধ্যে আকর্ষণ ঘটিবে। সুতরাং আহিত এবং অনাহিত (uncharged) বস্তু পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

এইবার আহিত কাচদণ্ডটিকে সিল্কের সুতা দ্বারা ঝুলানো একটি দোলনার উপর

রাখা হইল। এবোনাইট দণ্ডকে ফ্লানেল দ্বারা ঘষিয়া উহার নিকট আনিলে কাচদণ্ডটি আকর্ষিত হইবে [চিত্র 1ক (i)]। কিন্তু এবোনাইট দণ্ডের পরিবর্তে সিল্ক্ দ্বারা ঘষিয়া অপর একটি কাচের দণ্ডকে উপরোক্ত কাচদণ্ডের কাছে আনিলে কাচদণ্ডটি বিকর্ষিত হয় [চিত্র 1 ক (ii)]। একটি আহিত এবোনাইট দণ্ডকে একইভাবে



চিত্র—1ক (i)



চিত্র—1ক (ii)

আহিত অপর একটি এবোনাইট দণ্ডের কাছে আনিলেও উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটিবে। অর্থাৎ একইভাবে আহিত দুইটি কাচের অথবা দুইটি এবোনাইটের দণ্ডের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটিতেছে। সুতরাং একই প্রকার আধান (charge)-এর মধ্যে বিকর্ষণ ঘটিয়া থাকে। কিন্তু আমরা জানি যে আহিত কাচদণ্ড ও আহিত এবোনাইট দণ্ডের ক্ষেত্রে আকর্ষণ হয়। সুতরাং এই দুইটি দণ্ডে নিশ্চয় বিপরীত ধরনের আধান আছে। ইহাতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে **সমপ্রকৃতির আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং বিষমপ্রকৃতির আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে** (Like charges repel and unlike charges attract)। ইহাকে দ্যু-ফে (Du Fay)-র সূত্র বলা হয়।

বিদ্যুতের গুণাবলী আলোচনা করিয়া বৈজ্ঞানিকগণ সিদ্ধান্ত করিয়াছেন যে দুই প্রকারের বিদ্যুৎ আছে। যথা : ধনাত্মক (Positive) বিদ্যুৎ ও ঋণাত্মক (Negative) বিদ্যুৎ। কোন কাচের দণ্ডকে সিল্ক্ দ্বারা ঘষিলে কাচের দণ্ডে ধনাত্মক বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয়। এবোনাইট দণ্ডকে ফ্লানেল দ্বারা ঘষিলে দণ্ডটিতে ধনাত্মক বিদ্যুৎ উৎপন্ন হইবে। আমাদের মনে রাখিতে হইবে যে কোন বস্তুতে কোন্ ধরনের বিদ্যুৎ উৎপন্ন হইবে, তাহা কোন্ বস্তু দিয়া ঘষা হইল তাহার উপরেও নির্ভর করিবে। উদাহরণস্বরূপ, কাচের দণ্ডকে সিল্ক্ দ্বারা ঘষিলে দণ্ডটিতে ধনাত্মক বিদ্যুৎ উৎপন্ন হইবে। কিন্তু ঐ কাচের দণ্ডটিকে পশুলোম (Fur) দ্বারা ঘষিলে দণ্ডটিতে ঋণাত্মক বিদ্যুৎ এবং পশুলোমে ধনাত্মক বিদ্যুৎ উৎপন্ন হইবে। নিম্নে কতকগুলি বস্তুর একটি তালিকা দেওয়া হইল। ইহাদের এমনভাবে সাজানো হইয়াছে যে, যে-কোন দুইটি বস্তুকে পরস্পর ঘর্ষণ করিলে তালিকায় প্রথমে উল্লিখিত বস্তুটিতে ধনাত্মক এবং পরবর্তী

বস্তুতে ঋণাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হইবে। তালিকাটিকে স্থির-বৈদ্যুতিক শ্রেণী (electrostatic series) বলা হয়।

স্থির-বৈদ্যুতিক শ্রেণী ঃ

পশুলোম	রেশম বা সিল্ক	গালা
ফ্লানেল	মানুষের দেহ	অ্যামবার
কাচ	ধাতব পদার্থ	রজন
কাগজ	এবোনাইট	

ঘর্ষণজাত বিদ্যুৎ অনেক সময় বিপদের কারণ ঘটাইতে পারে। পেট্রলবাহী ট্রাক চলিবার সময় পাত্রে রাখা পেট্রল খুব নড়া-চড়া করে এবং ঘর্ষণের জন্য তড়িৎ উৎপন্ন হয় এবং সঞ্চিত হইতে থাকে। সঞ্চিত তড়িতের পরিমাণ বেশী হইলে স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করিবে। পেট্রল ভীষণভাবে দাহ্য বলিয়া উহাতে আগুন ধরিয়া যাইতে পারে এবং বিস্ফোরণ ঘটিতে পারে। এই আশঙ্কা দূর করিবার জন্য পেট্রলের পাত্র হইতে একটি লোহার শিকল মাটি পর্যন্ত ঝুলাইয়া রাখা হয়। ট্রাকটি চলিবার সময় শিকলটি মাটিতে গড়াইতে গড়াইতে যায় এবং পেট্রলে ঘর্ষণের জন্য উৎপন্ন তড়িৎ, শিকলের ভিতর দিয়া পৃথিবীতে চলিয়া যায়। ফলে সঞ্চিত আধানের পরিমাণ বেশী হইতে পারে না এবং বিপদের আশঙ্কা দূরীভূত হয়।

1-3. পরিবাহী ও অপরিবাহী (Conductors & Insulators) :

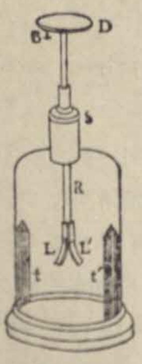
যে সমস্ত বস্তুর ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ সহজে প্রবাহিত হইতে পারে তাহাদিগকে **পরিবাহী** বলে। পরিবাহী বস্তুর উদাহরণ স্বরূপ যে-কোন ধাতব পদার্থ, অম্ল, কাঠকয়লা, মানুষের দেহ, পৃথিবী ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। রূপা বিদ্যুৎ-সুপরিবাহী এবং পরিবাহী হিসাবে রূপার পরেই তামার স্থান। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে, কোন বস্তু তাপের সুপরিবাহী হইলে তাহার মধ্য দিয়া বিদ্যুৎও সহজেই পরিবাহিত হইতে পারে।

যে সমস্ত বস্তুর মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহিত হইতে পারে না, তাহাদিগকে **অপরিবাহী বা অন্তরক** (insulator) বলা হয়। কাচ, রবার, পোর্সেলিন, গন্ধক, অভ্র, এবোনাইট, সিল্ক ইত্যাদি অপরিবাহী বস্তুর উদাহরণ। কিন্তু আবার এমন কতকগুলি বস্তু আছে, যাহাদের মধ্য দিয়া খুব অল্প মাত্রায় বিদ্যুৎ প্রবাহিত হইতে পারে। ঐ সমস্ত বস্তুকে **কুপরিবাহী** (bad conductor) বলে। কাঠ, জল, তুলা, কাগজ ইত্যাদি কুপরিবাহীর উদাহরণ। কিন্তু বাস্তবিক ক্ষেত্রে এমন পদার্থ পাওয়া যায় না যাহা একেবারেই পরিপূর্ণরূপে পরিবাহী বা পরিপূর্ণরূপে অপরিবাহী।

1600 খ্রীষ্টাব্দে গিলবার্ট ঘর্ষণের দ্বারা একটি পিতলের দণ্ডকে আহিত করিবার ব্যাপারে বিফলকাম হন। ইহার কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে যে ঘর্ষণ দ্বারা উৎপন্ন বিদ্যুৎ পরীক্ষাকার্যে নিযুক্ত ব্যক্তির দেহের মধ্য দিয়া পৃথিবীর মধ্যে প্রবাহিত হইয়া গিয়াছিল যাহার ফলে দণ্ডটি আহিত হইবার সুযোগ লাভ করে নাই। কিন্তু উপরোক্ত দণ্ডটিকে একটি কাচের হাতলের উপর রাখিয়া ঘর্ষণ করিলে উহাকে আহিত করা সম্ভবপর হইবে। যে কোন পরিবাহী বস্তুতে একটি অপরিবাহী হাতল লাগানো থাকিলে উহাকে **অন্তরিত পরিবাহী** (Insulated conductor) বলা হয়।

ইলেকট্রিক লাইন, টেলিগ্রাফের তার ইত্যাদিকে সরাসরি পোস্টের সহিত সংযুক্ত না করিয়া পোর্সেলিনের কাপের মাধ্যমে যুক্ত করা হয়। পোর্সেলিন অপরিবাহী বলিয়া তারগুলি এবং পৃথিবীর মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে পারে না। কিন্তু তারগুলিকে সরাসরি পোস্টের সহিত সংযুক্ত করিলে সর্বদাই পৃথিবীর সহিত তড়িৎপ্রবাহ ঘটিত এবং তড়িতের অপচয় হইত। তাছাড়া এই অবস্থায় কোন পোস্টকে স্পর্শ করিলে তড়িৎ-স্পৃষ্ট হইবার সম্ভাবনা থাকিত। এই সকল কারণেই তারগুলিকে পোর্সেলিনের কাপের মাধ্যমে পোস্টের সহিত যুক্ত করা হয়। এই ধরনের কাপগুলিকে প্রযুক্তি-বিদ্যায় **ইনসুলেটর** (insulator) বলা হয়।

1-4. বিকর্ষণই তড়িতের প্রকৃষ্ট প্রমাণ : একটি আহিত বস্তুর সহিত অপর এক বস্তুর আকর্ষণ ঘটিলে দ্বিতীয় বস্তুটি অনাহিত অথবা বিপরীতধর্মী আধান বিশিষ্ট হইতে পারে। সুতরাং একটি আহিত বস্তুর সহিত অপর একটি বস্তুর আকর্ষণ ঘটিলে দ্বিতীয় বস্তুটি আহিত না-ও হইতে পারে। কিন্তু দুইটি বস্তুর মধ্যে বিকর্ষণ ঘটিতে হইলে উহাদিগকে সমধর্মী আধান-বিশিষ্ট হইতে হইবে। সুতরাং একটি আহিত বস্তুর সহিত অপর একটি বস্তুর বিকর্ষণ ঘটিলে দ্বিতীয় বস্তুটি যে তড়িতাহিত তাহা নিশ্চিতরূপে বলা সম্ভব। অতএব **বিকর্ষণই তড়িৎ অস্তিত্বের প্রকৃষ্ট প্রমাণ।**



চিত্র–1 খ

1-5. স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণ (Gold-leaf electro scope) : এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন বস্তুতে তড়িতাধানের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি নির্ণয় করা সম্ভব। যন্ত্রটিতে অন্তরক পদার্থের তৈয়ারী একটি ছিপি S-এর ভিতর দিয়া ধাতব দণ্ড R ঢুকানো আছে। দণ্ডটির নীচের প্রান্তে সোনার অথবা অন্য কোন হাল্কা ধাতুর পাতলা পাত L, L´ এবং উপরের প্রান্তে একটি ধাতব চাকতি D লাগানো থাকে (চিত্র 1 খ)। বাহিরের বাতাস হইতে পাত দুইটির আন্দোলন বন্ধ করিবার জন্য যন্ত্রটিকে একটি কাচের পাত্রের ভিতর

রাখা হয়। যন্ত্রটিকে আরও সুবেদী করার জন্য পাত্রের গায়ে L, L´-এর উভয় দিকে সমান্তরালভাবে দুইটি পাতলা টিনের পাত t, t' লাগানো থাকে। পাত্রের ভিতরের বায়ুকে শুষ্ক রাখিবার জন্য উহার ভিতরে একটি পাত্রে কিছু ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড বা অনুরূপ কোন পদার্থ রাখা উচিত। অন্য কোন বস্তুর সহিত পরিবাহী তার দিয়া সংযোগ স্থাপন করার জন্য চাকতি D-তে একটি স্ক্রু (B) আটকানো থাকে। ইহা ছাড়া প্রয়োজন মত টিনের পাত দুইটিকে পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত করারও ব্যবস্থা আছে।

আধানের অস্তিত্ব নির্ণয়ঃ কোন বস্তু আহিত কিনা নির্ণয় করিবার জন্য বস্তুটিকে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের চাকতির নিকট **আস্তে আস্তে** আনিতে হইবে। স্বর্ণপত্রের বিস্ফোরণ ঘটিলে বস্তুটিতে আধান আছে বুঝিতে হইবে। পাত দুইটি কতটা ফাঁক হইল তাহা দেখিয়া পরীক্ষণীয় আধানের তীব্রতা (intensity) মোটামুটিভাবে নির্ণয় করা যাইতে পারে। অনাহিত বস্তুর ক্ষেত্রে পাত দুইটি যেমন ছিল তেমনই থাকিয়া যাইবে।

আধানের প্রকৃতি নির্ণয়ঃ আধানের প্রকৃতি নির্ণয়ের জন্য তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটিকে প্রথমত জানা ধরনের আধান দিয়া আহিত করিতে হইবে। ইহা পরিবহণ অথবা আবেশ পদ্ধতি দ্বারা সম্ভব। পরিবহণ পদ্ধতিতে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটিকে জানা ধরনের (ধর, ধনাত্মক) আধান দিয়া আহিত করিতে হইলে ধনাত্মক তড়িৎবিশিষ্ট কোন বস্তুকে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটির চাকতির সহিত ঠেকাইয়া সরাইয়া লইতে হইবে। তড়িৎবিশিষ্ট বস্তুটির সহিত যোগাযোগ ঘটার জন্য তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটি কিছু তড়িতাধান গ্রহণ করিবে। ফলে সোনার পাত দুইটি সমধর্মী আধানবিশিষ্ট হইবে এবং তাহাদের মধ্যে বিস্ফারণ ঘটিবে। এইরূপে যন্ত্রটিকে ধনাত্মক তড়িতাধান দ্বারা পরিবহণ পদ্ধতিতে আহিত করা সম্ভব। এইবার পরীক্ষণীয় বস্তুটিকে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটির চাকতির সহিত ঠেকান হইল। বস্তুটি ধনাত্মক আধানবিশিষ্ট হইলে পাত দুইটির মধ্যে ফাঁক আরও বাড়িয়া যাইবে। পাত দুইটির মধ্যে ফাঁক কমিয়া গেলে পরীক্ষণীয় বস্তুটি ঋণাত্মক আধানবিশিষ্ট বুঝিতে হইবে।

1-6. তড়িতের মতবাদ (Theories of Electricity) :

স্থির বিদ্যুতের বিভিন্ন ঘটনাবলীকে ব্যাখ্যা করিবার জন্য বিভিন্ন মতবাদের উদ্ভব হইয়াছে। এই তত্ত্বগুলি—

(i) **একক সরিল তত্ত্ব** (One fluid theory),

(ii) **দ্বিসরিল তত্ত্ব** (Two fluid theory) এবং

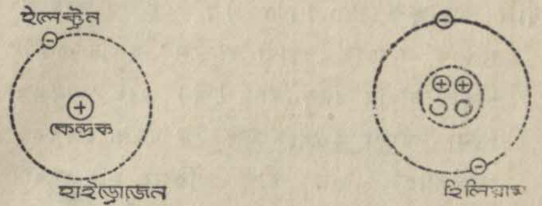
(iii) **ইলেকট্রন তত্ত্ব** (Electron theory)

(i) **একক সরিল তত্ত্ব** (One fluid theory) : এই তত্ত্ব অনুসারে বিদ্যুৎ এক প্রকারের ভরবিহীন, অবিনাশী (indestructible) সরিল বিশেষ এবং এই সরিল সমস্ত পদার্থে বিদ্যমান আছে। অনাহিত বস্তুতে ইহার পরিমাণ স্বাভাবিক। কিন্তু কোন বস্তু হইতে কিছু পরিমাণ সরিল অপর এক বস্তুতে প্রবেশ করিলে প্রথম বস্তুটি ঋণাত্মক এবং দ্বিতীয় বস্তুটি ধনাত্মক আধান-বিশিষ্ট হইবে। সরিল অবিনাশী বলিয়া উভয় বস্তুতেই সমপরিমাণ বিপরীত ধর্মী আধানের আবির্ভাব হইবে। ঘর্ষণের ফলে সমপরিমাণ বিপরীত-ধর্মী আধানের উৎপত্তিকে এইভাবে ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে। কালক্রমে দ্বিসরিল তত্ত্বের জন্য এই তত্ত্বটি চাপা পড়িয়া যায়।

(ii) **দ্বিসরিল তত্ত্ব** (Two fluid theory) : দ্যু ফে এই তত্ত্ব প্রচার করেন। এই মতানুসারে যে কোন বস্তুতে দুই রকমের ভরবিহীন ও অবিনাশী সরিল বর্তমান। উহাদের একটি ধনাত্মক এবং অপরটি ঋণাত্মক। অনাহিত বস্তুতে সরিল দুইটি সমপরিমাণে বিদ্যমান থাকে। আহিতকরণের সময় একটি বস্তু হইতে কিছু পরিমাণ যে কোন সরিল অন্য বস্তুতে চলিয়া যায়। উদাহরণস্বরূপ কোন বস্তু হইতে কিছু পরিমাণ ঋণাত্মক সরিল অন্য কোন বস্তুতে চলিয়া গেলে দ্বিতীয় বস্তুটি ঋণাত্মক এবং প্রথম বস্তুটি ধনাত্মক আধানবিশিষ্ট হইবে। একই পরিমাণ সরিল এক বস্তু হইতে বাহির হইয়া অপর বস্তুটিতে প্রবেশ করে বলিয়াই ঘর্ষণের ফলে সমপরিমাণ বিপরীত-ধর্মী আধানের উৎপত্তি ঘটিয়া থাকে। এই মতবাদ অনুসারে ধরিয়া লওয়া হয় যে একই ধরনের সরিল পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং বিভিন্ন ধরনের সরিল পরস্পরকে আকর্ষণ করিবে। সুতরাং এই ধারণা অনুসারে সমধর্মী আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে। কিন্তু এই তত্ত্ব সমস্ত ঘটনাবলীর ব্যাখ্যা করিতে সমর্থ হইল না। ফলে ইলেকট্রন তত্ত্বের আবির্ভাব ঘটিল।

(iii **ইলেকট্রন তত্ত্ব** (Electron theory) : জে. জে. টম্‌সন্, রাদারফোর্ড এবং আরও অনেকেই এই মতবাদ প্রচার করেন। এই তত্ত্ব অনুসারে যে কোন বস্তুই কতকগুলি পরমাণুর (atoms) সমষ্টি। এই পরমাণুগুলি এত ক্ষুদ্র যে সবচেয়ে শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যেও ইহাদের দেখা সম্ভব নহে। এই পরমাণুগুলির কেন্দ্রস্থলে **কেন্দ্রক** (nucleus) বিদ্যমান এবং কেন্দ্রকের চারিদিকে কয়েকটি নির্দিষ্ট কক্ষে ঋণাত্মক আধান বিশিষ্ট **ইলেকট্রন** ঘুরিতে থাকে। যে কোন পরমাণুর কেন্দ্রককে ভাঙ্গিলে দুই রকমের বস্তুকণা পাওয়া যাইতে পারে। তাহাদের নাম **নিউট্রন** (neutron) এবং **প্রোটন** (proton)। এই বস্তুকণাগুলির ভর পরস্পর সমান হইলেও নিউট্রনগুলি নিস্তড়িৎ এবং প্রত্যেকটি প্রোটনে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ ধনাত্মক আধান বর্তমান থাকে। একটি প্রোটনে যে পরিমাণ আধান আছে, একটি

ইলেক্‌ট্রনেও ঠিক সেই পরিমাণ আধান থাকিবে। কিন্তু ইহারা পরস্পর বিপরীতধর্মী হইবে। তাছাড়া, একটি প্রোটন একটি ইলেকট্রনের চেয়ে প্রায় 1800 গুণ ভারী।



চিত্র—1 গ

যে-কোন অনাহিত পরমাণুর কেন্দ্রকে যে পরিমাণ ধনাত্মক আধান থাকিবে তাহা ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনগুলির ঋণাত্মক আধানের সমষ্টির সমান হইবে। চিত্রে যথাক্রমে হাইড্রোজেন এবং হিলিয়াম পরমাণুর গঠন দেখানো হইয়াছে (চিত্র—1 গ)।

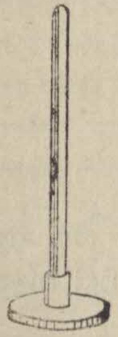
কোন বস্তুতে স্বাভাবিক পরিমাণের চেয়ে বেশী ইলেক্‌ট্রন থাকিলে বস্তুটি ঋণাত্মক আধানবিশিষ্ট হইবে। ধনাত্মক আধান-বিশিষ্ট বস্তুতে ইলেকট্রনের ঘাটতি পরিলক্ষিত হইবে। কোন একটি কাচের দণ্ডকে সিল্ক্ দ্বারা ঘষিলে মুক্তভাবে অবস্থিত (free) ইলেক্‌ট্রন্ কাচের দণ্ড হইতে বাহির হইয়া সিল্কের মধ্যে প্রবেশ করিবে। ফলে কাচের দণ্ডটি ধনাত্মক ও সিল্কের টুকরাটি ঋণাত্মক আধান-বিশিষ্ট বস্তুতে পরিণত হয়। যে হেতু যে-পরিমাণ ইলেক্‌ট্রন কাচের দণ্ড হইতে বাহির হইয়া যায় ও যে-পরিমাণ ইলেক্‌ট্রন সিল্কের টুকরাতে প্রবেশ করে তাহাদের মান পরস্পর সমান, সেই জন্য ঘর্ষণের ফলে সমপরিমাণ বিপরীত-ধর্মী আধানের উৎপত্তি ঘটিয়া থাকে।

অনুরূপভাবে যখন একটি এবোনাইট দণ্ডকে ফ্লানেল দ্বারা ঘষা হয় তখন মুক্তভাবে অবস্থিত কিছু পরিমাণ ইলেকট্রন ফ্লানেল হইতে বাহির হইয়া এবোনাইট দণ্ডে প্রবেশ করে। ফলে ফ্লানেলটি ধনাত্মক ও এবোনাইট দণ্ডটি ঋণাত্মক আধান বিশিষ্ট হইয়া যায়।

ইলেক্‌ট্রন তত্ত্বের সাহায্যে পরিবহণ পদ্ধতিতে আহিতকরণের ব্যাখ্যা দেওয়াও সম্ভব। ধর একটি ঋণাত্মক আধান বিশিষ্ট বস্তুকে একটি অনাহিত বস্তুর সংস্পর্শে আনা হইল। আমরা জানি ঋণাত্মক আধান বিশিষ্ট বস্তুতে ইলেকট্রনের পরিমাণ স্বাভাবিকের চেয়ে বেশী থাকে। ফলে, আহিত বস্তুটি হইতে কিছু পরিমাণ ইলেকট্রন অনাহিত বস্তুতে প্রবেশ করিবে এবং দ্বিতীয় বস্তুটিও ঋণাত্মক আধানবিশিষ্ট হইবে। অনাহিত বস্তুটি ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট বস্তুর সংস্পর্শে আসিলে কিছু পরিমাণ ইলেক্‌ট্রন অনাহিত বস্তু হইতে বাহির হইয়া আহিত বস্তুতে প্রবেশ করিবে। ফলে অনাহিত বস্তুটিতে ইলেক্‌ট্রনের পরিমাণ স্বাভাবিক পরিমাণ অপেক্ষা কম হইবে এবং

উহা ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট বস্তুতে রূপান্তরিত হইবে। এই তত্ত্বের সাহায্যে আবেশ পদ্ধতি দ্বারা আহিতকরণেরও ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব।

1-7. **আধান পরীক্ষক** (Proof plane) **:** এই যন্ত্রে কাচ বা অন্য কোন অন্তরক পদার্থের তৈয়ারী হাতলের সহিত একটি ছোট ধাতব চাকৃতি লাগান থাকে (চিত্র 1 ঘ) এবং কোন বস্তু তড়িতাহিত কিনা পরীক্ষা করিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। কোন বস্তু তড়িতাহিত কিনা পরীক্ষা করিবার জন্য আধান পরীক্ষকের ধাতব চাকৃতিটিকে সাময়িক ভাবে বস্তুটির সংস্পর্শে রাখা হয়। পরে হাতল ধরিয়া আধান পরীক্ষকটিকে স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের কাছে আনা হয়। ইহার ফলে সোনার পাত দুইটির বিস্ফারণ ঘটিলে বুঝিতে হইবে যে পরীক্ষণীয় বস্তুটি আহিত ছিল। বস্তুটিতে কি ধরনের আধান বিদ্যমান জানিতে হইলে আধান পরীক্ষক যন্ত্রটিকে কোন একটি আহিত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের কাছে আনিতে হইবে।



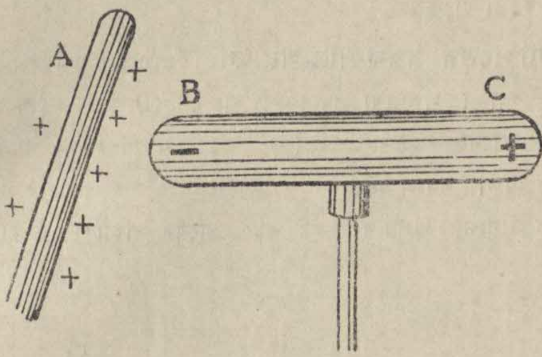
চিত্র—1 ঘ

যখন পরীক্ষণীয় কোন আহিত বস্তুকে নাড়াচাড়া করানো অসুবিধাজনক কিংবা যখন উহাতে খুব বেশী পরিমাণ আধান বর্তমান থাকে তখন আধান পরীক্ষক যন্ত্র ব্যবহৃত হয়।

1-8. **তড়িতাবেশ** (Electrostatic induction) **:** কোন বস্তুকে ঘর্ষণ অথবা পরিবহণ পদ্ধতি দ্বারা আহিত করা সম্ভব। কিন্তু এই পদ্ধতিগুলি ছাড়াও আর একটি পদ্ধতিতে কোন বস্তুকে আহিত করা সম্ভব। ইহার নাম **তড়িতাবেশ।** এই ক্ষেত্রে কোন একটি আহিত বস্তুকে একটি অনাহিত বস্তুর কাছে রাখিলে দ্বিতীয় বস্তুটি তড়িতাহিত হইবে। ইহার ফলে উদ্ভূত আধানকে **আবিষ্ট আধান** (Induced charge) এবং যে আধানের জন্য আবেশ সম্ভবপর হইল তাহাকে **আবেশী আধান** (Inducing charge) বলা হয়। নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে আবিষ্ট আধানের প্রকৃতি নির্ণয় করা সম্ভব।

BC একটি পরিবাহী বস্তু এবং তাহার সহিত একটি অপরিবাহী হাতল লাগান আছে (চিত্র 1 ঙ)। কোন নির্দিষ্ট আধান (ধর, ধনাত্মক) বিশিষ্ট A-দণ্ডকে BC-এর কাছে আনিলে ইহাতে তড়িতাবেশ ঘটিবে। ইহা পরীক্ষা করিবার জন্য কোন একটি আধান পরীক্ষককে পরিবাহী বস্তুটির B প্রান্তে ঠেকাইয়া একটি অনাহিত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের কাছে ধরা হইল। ইহার ফলে সোনার পাত দুইটির বিস্ফারণ ঘটিবে। সুতরাং পরিবাহী বস্তুটির B প্রান্ত আহিত হইয়াছে বুঝিতে হইবে। এইবার আধান পরীক্ষক যন্ত্রটিকে সাময়িকভাবে স্পর্শ করিয়া নিস্তড়িৎ করা হইল। আধান

পরীক্ষক যন্ত্রটিকে C প্রান্তে ঠেকাইয়া উপরোক্ত পরীক্ষাটি করিলে দেখা যাইবে যে



চিত্র—1 ঙ

এক্ষেত্রেও সোনার পাত দুইটির বিস্ফারণ ঘটিতেছে। সুতরাং আবেশের ফলে C প্রান্তও আহিত হইয়াছে। পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে BC-এর মধ্যস্থলে কোন আধান বর্তমান নাই।

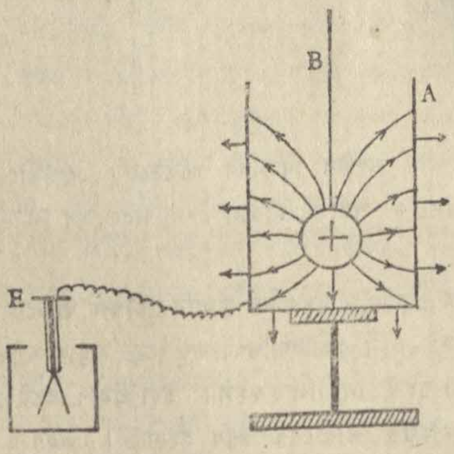
আবিষ্ট আধানের প্রকৃতি নির্ণয়ের জন্য আধান পরীক্ষক যন্ত্রটিকে B প্রান্তে ঠেকাইয়া ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট কোন একটি তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের সম্মুখে উপস্থাপিত করা হইল। দেখা যাইবে যে পাত দুইটি নিমীলিত হইল। ইহা প্রমাণ করে যে, আবেশের জন্য বস্তুটির B প্রান্তে ঋণাত্মক আধানের উদ্ভব হইয়াছে। এইবার আধান পরীক্ষক যন্ত্রটিকে নিস্তড়িৎ করিয়া সাময়িক ভাবে C প্রান্তে ঠেকান হইল এবং উহাকে উপরোক্ত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের কাছে আনা হইল। এই ক্ষেত্রে পাত দুইটির বিস্ফারণ ঘটিবে। সুতরাং ইহা প্রমাণ করে যে C প্রান্তটি ধনাত্মক আধান-বিশিষ্ট হইয়াছে।

আহিত দণ্ড A-কে সরাইয়া BC বস্তুটিকে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে বস্তুটিতে আর কোন আধান বিদ্যমান নাই। সুতরাং আবিষ্ট ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আধান পরস্পরকে প্রশমিত করিতে সমর্থ হইয়াছে। অতএব তাহাদের মাত্রাগত মান পরস্পর সমান হইবে।

সুতরাং, **আবেশের ফলে যে কোন পরিবাহী বস্তুর দুই প্রান্তে সমপরিমাণ বিপরীতধর্মী আধানের উদ্ভব ঘটিয়া থাকে।** তাছাড়া আবেশের ফলে পরিবাহী বস্তুটিতে আহিত বস্তুর নিকটতম প্রান্তে বিপরীতধর্মী তড়িৎ এবং দূরতম প্রান্তে সমধর্মী তড়িতের বিকাশ ঘটিবে এবং বস্তুটির মাঝখানে কোন তড়িৎ থাকিবে না। তড়িতাবিষ্ট বস্তুটিকে স্পর্শ করিলে দূরতম প্রান্তে আর কোন আধান থাকিবে না। সেইজন্য দূরতম প্রান্তের আবিষ্ট আধানকে **মুক্ত আধান**

(Free charge) এবং নিকটতম প্রান্তের আবিষ্ট আধানকে **বদ্ধ আধান** (Bound charge) বলা হইয়া থাকে।

1-9. ফ্যারাডের বরফ-পাত্র পরীক্ষা (Faraday's Ice-pail experiment) : এই পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে, (i) আবেশের ফলে সমপরিমাণ বিপরীত ধর্মী আধানের উদ্ভব ঘটে এবং (ii) আবেশ সম্পূর্ণ হইলে আবেশী-আধান ও আবিষ্ট-আধান পরস্পর সমান হইবে। পরীক্ষাটি করার জন্য একটি ফাঁপা ধাতব চোঙ A-কে অন্তরক আসনের উপর রাখা হয় এবং তারের সাহায্যে চোঙ্‌টিকে দূরবর্তী



চিত্র—1 চ

তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের চাকতি E-এর সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 1 চ)। একটি ধাতব বলকে ধনাত্মক আধানে আহিত করিয়া সিল্কের সুতার সাহায্যে চোঙ্‌টির ভিতর আস্তে আস্তে প্রবেশ করাইলে দেখা যাইবে যে, তড়িৎবীক্ষণের পত্র দুইটির বিস্ফারণ বাড়িয়া যাইতেছে। বলটি চোঙের যথেষ্ট অভ্যন্তরে প্রবেশ করিলে বিস্ফারণ সর্বোচ্চ হইবে। সেক্ষেত্রে বলটিকে আরও ভিতরে প্রবেশ করাইলে অথবা এদিক-ওদিক নাড়াচাড়া করাইলে বিস্ফারণের কোন হেরফের ঘটিবে না। ইহার কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে যে, বলটিকে চোঙে ঢুকাবার জন্য আবেশ ঘটিয়া থাকে। ইহার ফলে চোঙের অভ্যন্তরে ঋণাত্মক বদ্ধ আধান এবং বাহিরের দিকে ধনাত্মক মুক্ত আধান দেখা দেয়। তড়িৎ বীক্ষণ যন্ত্রটি পাত্রের বাহিরের সহিত যুক্ত। সুতরাং, মুক্ত ধনাত্মক আধানের জন্য তড়িৎ বীক্ষণের পত্র দুইটির বিস্ফারণ ঘটে। বলটি পাত্রের যথেষ্ট অভ্যন্তরে থাকিলে বল হইতে নির্গত সমস্ত বলরেখা পাত্রটির ভিতর দিয়া যাইবে। ইহার ফলে আবেশের পরিমাণও সর্বোচ্চ হইবে। সেই সময় বলটিকে আরও ভিতরে

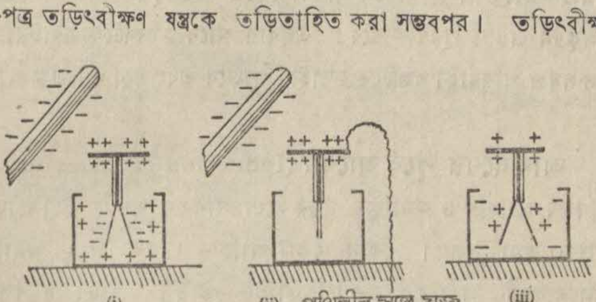
প্রবেশ করাইলে অথবা এদিক-ওদিক নাড়াইলে আবেশের কোন হের ফের ঘটিবে না। এই কারণেই বিস্ফারণের পরিমাণ সর্বোচ্চ হইয়া থাকিয়া যায়।

আহিত বলটিকে সিল্কের সুতার সাহায্যে বাহির করিয়া লইলে দেখা যাইবে যে, তড়িৎবীক্ষণের পত্র দুইটি নিমীলিত হইয়া গেল। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, আবিষ্ট মুক্ত এবং বদ্ধ আধান পরস্পর সমান কিন্তু বিপরীতধর্মী অর্থাৎ **আবেশের ফলে সমপরিমাণ বিপরীতধর্মী আধানের উদ্ভব ঘটে।**

আহিত বলটিকে পুনরায় আস্তে আস্তে চোঙটির যথেষ্ট অভ্যন্তরে প্রবেশ করান হইল। এই সময় তড়িৎবীক্ষণের বিস্ফারণ সর্বোচ্চ হইবে। বলটিকে চোঙের সহিত স্পর্শ করাইলেও বিস্ফারণ একই থাকিয়া যাইবে। বলটিকে বাহির করিয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে, বলটিতে আর কোন আধান নাই। এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হয় যে চোঙের ভিতরে আবিষ্ট আধান বলটির আবেশী-আধানের সমান কিন্তু বিপরীতধর্মী। সুতরাং **আবেশ সম্পূর্ণ হইলে আবেশী আধান ও আবিষ্ট আধান পরস্পর সমান হইবে।**

ফ্যারাডে এই পরীক্ষাটি করিবার জন্য বরফ রাখিবার একটি ধাতব পাত্র ব্যবহার করেন। সেইজন্য এই পরীক্ষাটি ফ্যারাডের বরফ-পাত্র নামে অভিহিত হইয়া থাকে।

1-10. আবেশ পদ্ধতিতে স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণের তড়িতাহিত করণ (Charging a gold-leaf electroscope by induction) : আবেশ পদ্ধতি দ্বারা স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রকে তড়িতাহিত করা সম্ভবপর। তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটিকে



(i) (ii) পৃথিবীর সঙ্গে যুক্ত (iii)

চিত্র – 1 ছ

ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট করিতে হইলে উহার চাক্‌তির সম্মুখে একটি ঋণাত্মক আধান-বিশিষ্ট দণ্ডকে আনিতে হইবে। ইহার ফলে চাকতিটিতে বদ্ধ ধনাত্মক আধান ও সোনার পাত দুইটিতে মুক্ত ঋণাত্মক আধান আবিষ্ট হইবে এবং পাত দুইটির বিস্ফারণ ঘটিবে [চিত্র 1 ছ (i)। দণ্ডটিকে না সরাইয়া চাকতিটিকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করিলে মুক্ত ঋণাত্মক আধান পৃথিবীর মধ্যে চলিয়া যাইবে এবং পাত দুইটি নিমীলিত

হইবে [চিত্র 1 ছ (ii)]। পৃথিবীর সহিত যুক্ত না করিয়া চাকতিটিকে সাময়িকভাবে স্পর্শ করিলেও অনুরূপ ঘটনা ঘটিবে।

এইবার পৃথিবীর সহিত যোগাযোগ বিচ্ছিন্ন করিয়া আবেশী দণ্ডটিকে সরাইয়া লইলে আবিষ্ট বদ্ধ আধান সমগ্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটিতে ছড়াইয়া পড়িবে এবং পাত দুইটি আবার বিস্ফারিত হইবে [চিত্র 1 ছ (iii)]। এইরূপে আবেশ পদ্ধতি দ্বারা তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রকে ধনাত্মক আধানবিশিষ্ট করা সম্ভব।

তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটিকে আবেশ পদ্ধতিতে ঋণাত্মক আধানবিশিষ্ট করিতে হইলে একটি ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট দণ্ডকে চাকতিটির কাছে আনিয়া উপরোক্ত প্রক্রিয়াগুলি অবলম্বন করিতে হইবে।

1-11. **আবেশের ফলে তড়িতাহিতকরণের ব্যাখ্যা** (Explanation of charging by induction) : আমরা জানি যে পরিবাহী বস্তুতে প্রচুর পরিমাণে ইলেকট্রন মুক্ত অবস্থায় থাকে। কোন অন্তরিত পরিবাহী বস্তুর সম্মুখে একটি ধনাত্মক আধানবিশিষ্ট দণ্ডকে আনয়ন করিলে বস্তুটির কতকগুলি ইলেকট্রন দণ্ড কর্তৃক আকর্ষিত হইবে। ফলে বস্তুটির যে প্রান্ত আবেশী দণ্ডের নিকট অবস্থিত সেই প্রান্তে স্বাভাবিকের চেয়ে বেশী পরিমাণ ইলেকট্রনের সমাবেশ ঘটিবে এবং উল্লিখিত প্রান্তটি ঋণাত্মক আধান-বিশিষ্ট হইবে। কিন্তু বস্তুটির অপর প্রান্তে ইলেকট্রনের পরিমাণ স্বাভাবিকের অপেক্ষা কম হইবে। ফলে ঐ প্রান্তটি ধনাত্মক আধানবিশিষ্ট হইবে। পরিবাহী বস্তুটিকে সাময়িকভাবে স্পর্শ করিলে পৃথিবী হইতে ইলেকট্রন আসিয়া বস্তুটির দূরতম প্রান্তের ইলেকট্রন ঘাটতি পূরণ করিবে। এইবার আবেশী দণ্ডটিকে সরাইয়া লইলে বদ্ধ ইলেকট্রনগুলি সমগ্র পরিবাহী বস্তুটিতে ছড়াইয়া পড়িবে এবং উহা ঋণাত্মক আধানবিশিষ্ট হইবে।

1-12. **আকর্ষণের পূর্বে আবেশ** (Induction precedes attraction) : আমরা জানি যে আহিত ও অনাহিত বস্তুর মধ্যে আকর্ষণ ঘটে। ইহা তড়িতাবেশের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা সম্ভব। কোন একটি আহিত দণ্ডকে একটি অনাহিত বস্তুর সম্মুখে আনিলে বস্তুটি আবেশের জন্য তড়িতাহিত হইবে। বস্তুটির যে প্রান্ত আবেশী আধানের নিকটতম সেই প্রান্তে বিপরীতধর্মী এবং অপর প্রান্তে সমধর্মী আধানের উদ্ভব ঘটিবে। আবেশী আধান এবং বিপরীতধর্মী আবিষ্ট আধানের মধ্যে আকর্ষণের বল আবেশী আধান ও দূরতম প্রান্তে আবিষ্ট আধানের মধ্যে বিকর্ষণ অপেক্ষা বেশী হইবে। ইহার ফলে অনাহিত বস্তুটি আহিত বস্তু কর্তৃক আকর্ষিত হইবে। সুতরাং আমরা দেখিতে পাই যে আকর্ষণের পূর্বে অনাহিত বস্তুটিতে তড়িতাবেশ ঘটিয়া থাকে। সেইজন্যই বলা হয় **আকর্ষণের পূর্বে আবেশ ঘটিয়া থাকে।**

1-13. **চৌম্বক আবেশ ও তড়িতাবেশের মধ্যে তুলনা** (Comparison between magnetic induction and electrostatic induction) : (i) চৌম্বক আবেশে দুইটি বিপরীতধর্মী মেরুর সৃষ্টি হয়। তড়িতাবেশের ক্ষেত্রেও দুইটি বিপরীতধর্মী আধানের উদ্ভব ঘটিয়া থাকে।

(ii) তড়িতাবেশের ক্ষেত্রে আবেশী বস্তুটিকে আবিষ্ট বস্তুর সংস্পর্শে আনা চলিবে না। কিন্তু চৌম্বক আবেশের ক্ষেত্রে আবেশী চুম্বকটিকে আবিষ্ট চুম্বকের সংস্পর্শে আনিলে চৌম্বক আবেশের পরিমাণ আরও বেশী হইবে।

(iii) চুম্বকের ক্ষেত্রে আবিষ্ট মেরু দুইটিকে পৃথক করা অসম্ভব। কিন্তু তড়িতের ক্ষেত্রে আবিষ্ট আধান দুইটিকে পৃথক করা যাইতে পারে।

1-14. **পরিবাহী বস্তুতে আধানের অবস্থান** (Seat of charge on a conductor) : পরিবাহী বস্তুতে আধান সর্বদাই বস্তুটির বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। ইহা নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলির সাহায্যে প্রমাণ করা যাইতে পারে :

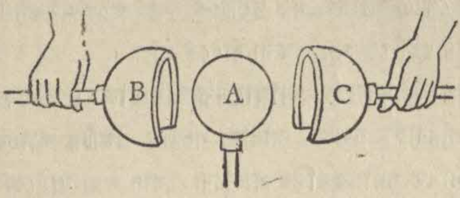
(i) **ফ্যারাডের প্রজাপতি জাল পরীক্ষা** (Faraday's butterfly-net experiment) : ফ্যারাডে সর্বপ্রথম এই পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করেন যে আধান সর্বদাই পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। এই পরীক্ষাটিতে অন্তরক হাতলের উপর একটি ধাতব আংটা বসান থাকে এবং আংটাটির সহিত রেশমী সূতার শঙ্কু আকৃতির একটি জাল আটকান আছে। জালটির শীর্ষ বিন্দুতে উহার দুই দিকে দুইটি রেশমী সূতা আটকান থাকে। সূতা দুইটির সাহায্যে জালটিকে যে কোন দিকে উল্টাইয়া দেওয়া সম্ভব। সে ক্ষেত্রে জালটির ভিতরের দিক বাহিরে এবং বাহিরের দিক ভিতরে অবস্থান করিবে (চিত্র 1 জ)। জালটিকে এইবার তড়িতাহিত করা হইল। আধান পরীক্ষক এবং তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে, জালটির বাহিরের পৃষ্ঠে আধান রহিয়াছে কিন্তু ভিতরের পৃষ্ঠে কোন আধান বিদ্যমান নাই। এইবার রেশমী সূতার সাহায্যে



চিত্র—1 জ

জালটির ভিতরের দিক বাহিরের দিকে আনা হইল। সুতরাং পূর্বের পরীক্ষায় জালের যে পৃষ্ঠটি ভিতরে ছিল তাহা বর্তমানে বাহিরের দিকে থাকিবে। আধান পরীক্ষক এবং তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পুনরায় পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে সমস্ত আধান বাহিরের পৃষ্ঠে রহিয়াছে। কিন্তু ভিতরের পৃষ্ঠে কোন আধানের অস্তিত্ব নাই। সুতরাং আধান সর্বদাই পরিবাহী বস্তুর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে।

(ii) **বায়টের পরীক্ষা** (Biot's experimen) : একটি ধাতব গোলক A-কে অন্তরক হাতলের উপর রাখা হইল। দুইটি পাতলা ধাতব 'অর্ধগোলক' B ও C এমন ভাবে তৈয়ারী যে উহারা পূর্বোক্ত গোলকটিকে সম্পূর্ণরূপে আবৃত করিতে পারে (চিত্র 1 ঝ)। এই অর্ধগোলক দুইটির প্রত্যেকের সহিত একটি করিয়া অন্তরক হাতল লাগানো থাকে। এইবার গোলক A-কে আহিত করিয়া আধান পরীক্ষক ও তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে গোলকটির বাহিরের



চিত্র—1 ঝ

পৃষ্ঠে আধান বিত্তমান রহিয়াছে। এইবার গোলকটিকে অর্ধগোলক দুইটি দ্বারা সম্পূর্ণরূপে আবৃত করিয়া পুনরায় খুলিয়া ফেলা হইল। এইবার পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে A গোলকে কোনো আধান নাই। কিন্তু অর্ধগোলক দুইটি তড়িতাহিত হইয়াছে। সুতরাং আমরা দেখিতে পাইতেছি যে পরিবাহী বস্তুর কেবলমাত্র বাহিরের পৃষ্ঠেই আধান থাকিতে পারে।

(iii) **ফাঁপা পরিবাহী বস্তুর ভিতরে কোন আধান থাকে না** (No charge resides inside a hollow conductor) : ইহা প্রমাণ করিবার জন্য একটি ফাঁপা পরিবাহী গোলককে অন্তরক হাতলের উপর রাখিয়া আহিত করা হইল। ফাঁপা গোলকটির উপরে একটি ছিদ্র থাকে। আধান পরীক্ষক এবং তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র সাহায্যে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে ফাঁপা পরিবাহী গোলকটির বাহিরের পৃষ্ঠে আধান আছে কিন্তু ভিতরে কোন আধান নাই। ইহা প্রমাণ করে যে ফাঁপা পরিবাহী বস্তুর ভিতরে কোন আধান থাকিতে পারে না। কোন পরিবাহী বস্তুতে আধান কেন পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে তাহা নিম্নলিখিত ভাবে ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে :

আমরা জানি সমধর্মী আধান পরস্পর পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং ইহার ফলে তাহারা পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যাইতে চেষ্টা করে। ধর, কোন পরিবাহী বস্তুকে ঋণাত্মক তড়িৎ দ্বারা আহিত করা হইল। এই ক্ষেত্রে বস্তুটিতে স্বাভাবিক পরিমাণ অপেক্ষা বেশী ইলেকট্রন থাকিবে। এই ইলেকট্রনগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ করিবে এবং

পরস্পর হইতে যতদূর সম্ভব দূরে সরিয়া যাইবে। যে কোন বস্তুর বাহিরের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ভিতরের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল অপেক্ষা বেশী বলিয়া ইলেকট্রনগুলি পরিবাহী বস্তুর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করিবে। ধনাত্মক আধানের ক্ষেত্রেও অনুরূপ ঘটনা ঘটিবে। এই কারণেই আধান সর্বদাই পরিবাহী বস্তুর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে।

অপরিবাহী বস্তুর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইতে পারে না। ফলে এই ধরনের বস্তুতে আধান বাহিরের পৃষ্ঠে ছড়াইয়া পড়িতে অসমর্থ হয়।

1-15. আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (Surface density of charge) : পরিবাহী বস্তুর পৃষ্ঠে কোন বিন্দুর চারিপাশে একক ক্ষেত্রফলে যে পরিমাণ আধান থাকে তাহা ঐ বিন্দুতে **আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব** সূচিত করে। ইহা সাধারণত σ (সিগমা) অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। Q পরিমাণ আধান A ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট পৃষ্ঠদেশে সমান ভাবে ছড়াইয়া থাকিলে, তলমাত্রিক ঘনত্ব, $\sigma = Q/A$ হইবে।

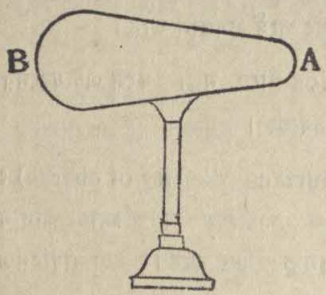
Q পরিমাণ আধান r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট কোন পরিবাহী গোলকে বিদ্যমান থাকিলে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব

$$\sigma = \frac{Q}{\text{গোলক পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল}} = \frac{Q}{4\pi r^2}$$

সুতরাং বস্তুটির ব্যাসার্ধ বাড়িয়া গেলে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব কমিয়া যাইবে কিন্তু ব্যাসার্ধ কমিলে তলমাত্রিক ঘনত্ব বাড়িয়া যাইবে। সূচ্যগ্র বিন্দুতে ব্যাসার্ধের মান খুব কম (বক্রতা বেশী)। সুতরাং ঐ বিন্দুতে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব খুব বেশী হইবে। উপরোক্ত কারণেই কোন পরিবাহী বস্তুর বক্রতা বিভিন্ন হইলে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের মানও বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন হইবে।

1-16. পরিবাহী পৃষ্ঠে আধানের বণ্টন (Distribution of charge on the surface of a conductor) : পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভিন্ন স্থানের বক্রতা বিভিন্ন হইলে আধানের বণ্টনও বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হইবে। একটি পরিবাহী গোলকের পৃষ্ঠদেশের বক্রতা সর্বত্রই সমান। সুতরাং গোলকপৃষ্ঠে আধান সর্বত্রই সমানভাবে (uniformly) ছড়াইয়া থাকিবে। ইহা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করিবার জন্য পরিবাহী গোলকটিকে অন্তরক হাতলের উপর রাখিয়া আহিত করা হইল। এইবার গোলক-পৃষ্ঠের যে কোন বিন্দুতে আধান পরীক্ষককে ছোঁয়াইয়া অনাহিত স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের সম্মুখে আনিলে পাত দুইটির বিস্ফারণ ঘটিবে। আধান পরীক্ষকটিকে গোলক-পৃষ্ঠের বিভিন্নস্থানে ছোঁয়াইয়া উপরোক্ত পরীক্ষাটি করিলে দেখা যাইবে যে প্রতিক্ষেত্রেই

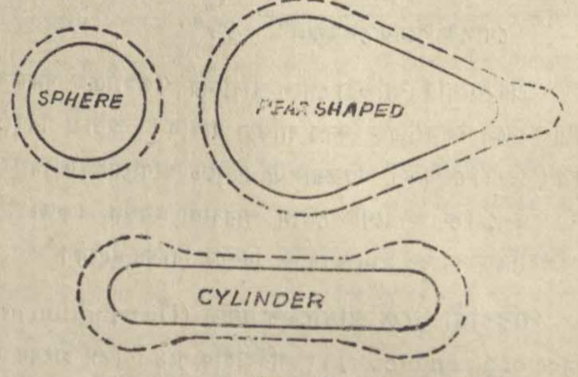
পাত দুইটির একই পরিমাণ বিস্ফারণ ঘটিতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে পরিবাহী গোলকপৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সর্বত্রই সমান।



চিত্র—1 ঞ

এইবার অসম আকারের একটি বস্তু (AB)-কে লওয়া হইল (চিত্র 1 ঞ)। স্পষ্টতই A প্রান্তের বক্রতা B প্রান্তের বক্রতা অপেক্ষা বেশী। উপরোক্ত পরীক্ষাটি করিলে দেখা যাইবে যে আধান পরীক্ষকটি যখন A প্রান্তকে স্পর্শ করে তখন পাত দুইটির বিস্ফারণ বেশী ঘটিয়াছে। ইহা প্রমাণ করে যে A প্রান্তে আধানের বণ্টন B প্রান্তের বণ্টন অপেক্ষা বেশী অর্থাৎ, যে সমস্ত স্থানের বক্রতা বেশী (সুতরাং ব্যাসার্ধ কম) সেই সমস্ত স্থানে আধানের বণ্টনও বেশী।

বিভিন্ন আকারের পরিবাহী বস্তুর পৃষ্ঠদেশে আধানের বণ্টন মাত্রাগতভাবে চিত্রে (1 ট)-এ দেখান হইয়াছে। চিত্রে অবিচ্ছিন্ন রেখাগুলি বস্তুগুলির সীমারেখা। এবং



চিত্র—1 ট

পরিবাহী পৃষ্ঠের যে কোন বিন্দু হইতে কাটা (dotted) লাইনের দূরত্ব ঐ বিন্দুতে আধান বণ্টনের পরিমাণ মাত্রাগতভাবে সূচিত করে। দেখা যাইতেছে যে, কোন স্থানের বক্রতা বেশী হইলে ঐ স্থানের আধান বণ্টনের পরিমাণও বেশী হইয়াছে।

1-17. **সূচীমুখে তড়িৎ-মোক্ষণ** (Electric discharge at points): যে কোন পরিবাহী বস্তুর সূচীমুখে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব খুব বেশী হয় বলিয়া সূচীমুখে সমধর্মী আধানের বিশেষ সমাবেশ ঘটিবে এবং তাহাদের পারস্পরিক বিকর্ষণের মাত্রা প্রবল হইবে। ইহার ফলে সূচীমুখ হইতে আধান বাহির হইয়া যাইবে

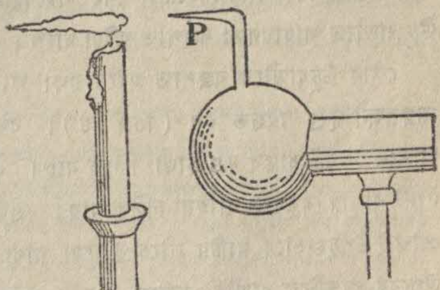
এবং পরিবাহী বস্তুটির আধানের মোট পরিমাণ কমিয়া যাইবে। এই ঘটনাকে **তড়িৎমোক্ষণ** (electric discharge) বলা হয়। আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব খুব বেশী হইলে তড়িৎ-মোক্ষণের হারও খুব দ্রুত হইবে।

ইহা ছাড়া আর একটি কারণেও সূচীমুখ হইতে তড়িৎমোক্ষণ ঘটিয়া থাকে। সূচীমুখে আধান থাকার জন্য চারিপাশের বায়ুকণাগুলি আবেশের ফলে বিপরীত আধানে আবিষ্ট হয় এবং সূচীমুখ কর্তৃক আকর্ষিত হয়। আকর্ষণের ফলে বিপরীত আধানে আবিষ্ট বায়ুকণাগুলি সূচীমুখের উপর গিয়া পড়ে এবং সূচীমুখ বিপরীতধর্মী আধান গ্রহণ করিয়া সাময়িকভাবে নিস্তড়িৎ হইয়া যায়। তাহার পর পরিবাহী বস্তুটি হইতে সমধর্মী আধান গ্রহণ করিয়া বিকর্ষিত হয় এবং বস্তুটি হইতে দূরে সরিয়া যায়। এই সমস্ত কারণের জন্যও পরিবাহী বস্তুটি হইতে তড়িৎমোক্ষণ ঘটিয়া থাকে। সেইজন্য কোন আহিত পরিবাহী বস্তুতে আধান ভালভাবে ধরিয়া রাখিতে হইলে উহার আকার গোল হওয়া উচিত। নিম্নলিখিত পরীক্ষা দুইটির সাহায্যে সূচীমুখে তড়িৎমোক্ষণ দেখানো হইয়াছে :

(i) **তড়িৎ-বাত্যা** (Electric wind) :

কোন সূচীমুখ পরিবাহীকে তীব্র তড়িতে আহিত করিলে উহা হইতে তড়িৎক্ষরণ ঘটিয়া থাকে এবং তড়িৎ-বাত্যার সৃষ্টি হয়। ইহা নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো যাইতে পারে :

অন্তরিত পরিবাহীর উপরে সূচীমুখ P অবস্থিত এবং সূচীমুখের সম্মুখে একটি জ্বলন্ত মোম বাতি রাখা হইল। সূচীমুখটি তীব্র তড়িতে আহিত করিলে দেখা যাইবে যে মোমবাতির শিখাটি P-এর উল্টাদিকে হেলিয়া পড়িয়াছে (চিত্র 1-১)। ইহার কারণস্বরূপ বলা যাইতে পারে যে সূচীমুখ হইতে ক্ষরিত আধান সম্মুখের বায়ুকণাগুলিকে এবং

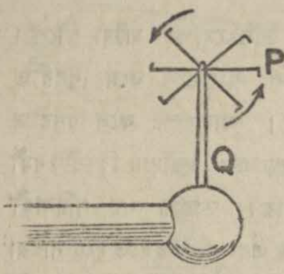


চিত্র—1 ১

মোমবাতির গ্যাসীয় কণাগুলিকে সমজাতীয় তড়িত আহিত করে। এই সমস্ত আহিত কণাগুলি সূচীমুখের আধান কর্তৃক বিকর্ষিত হয় এবং একটি প্রবাহের সৃষ্টি করে। সেইজন্য মোমবাতির শিখাটি সূচীমুখের উল্টাদিকে হেলিয়া যায়। তড়িৎ-মোক্ষণের ফলে যে বাত্যার সৃষ্টি হয় তাহাকে **তড়িৎ বাত্যা** বলা হয়।

(ii) **তড়িৎ চক্র** (Electric whirl) :

তড়িতোৎপাদক যন্ত্রের উপরে পরিবাহী যন্ত্র Q বসানো আছে। যন্ত্রটির উপরে P-চক্রটি এমনভাবে বসানো যে উহা সহজেই চক্রাকারে ঘুরিতে পারে (চিত্র 1 ড)।



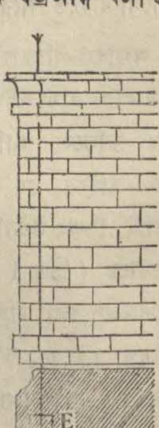
চিত্র—1 ড

চক্রের বাহুগুলির অগ্রভাগ সূচালো এবং একই দিকে বাঁকানো। চক্রটিকে তীব্রভাবে আহিত করিলে চক্রটি তীর-চিহ্নিত পথে ঘুরিতে থাকিবে। ইহার কারণস্বরূপ বলা যাইতে পারে যে সূচীমুখ হইতে তড়িৎমোক্ষণের ফলে বায়ুকণাগুলি সমজাতীয় তড়িতে আহিত হয়। বায়ুকণাগুলি এবং সূচীমুখে অবস্থিত আধানের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটে এবং বায়ুকণাগুলি সূচীমুখ হইতে দূরে সরিয়া যায়। ইহার প্রতিক্রিয়ার ফলে সূচীমুখের বিপরীত দিকে চক্রটি ঘুরিতে থাকে।

1.18. বজ্র-রক্ষী দণ্ড (Lightning conductor) :

পরস্পরের মধ্যে ঘর্ষণ, মহাজাগতিক রশ্মির ক্রিয়া এবং পৃথিবীর তেজষ্ক্রিয় পদার্থের প্রভাবের ফলে মেঘের মধ্যে অবস্থিত বারিবিন্দুগুলি তীব্র তড়িতে আহিত হইতে পারে। এইরূপ ক্ষেত্রে দুইটি প্রতিবেশী মেঘের মধ্যে অথবা মেঘ ও পৃথিবীর মধ্যে তড়িৎমোক্ষণ ঘটিতে পারে। ভূ-পৃষ্ঠ ও আহিত মেঘের মধ্যে তড়িৎমোক্ষণ ঘটিলে তাহাকে **বজ্রপাত** বলে এবং এই সময় যে ভীষণ শব্দ হয় তাহাকে **বজ্রনাদ** বলা হয়।

বজ্রপাতের সময় তড়িৎমোক্ষণ যে পথে সর্বাপেক্ষা কম বাধা পাইবে সেই পথ অবলম্বন করে। সেই কারণেই লম্বাগাছে, উঁচু বাড়ীতে সাধারণতঃ বজ্রপাত ঘটিয়া থাকে।



চিত্র—1 ঢ

কোন উঁচুবাড়ীকে বজ্রপাত হইতে রক্ষা করিবার জন্য **বজ্ররক্ষী দণ্ড** ব্যবহৃত হয় (চিত্র 1 ঢ)। বজ্ররক্ষী দণ্ড আসলে একটি ধাতব দণ্ড ছাড়া কিছুই নহে। এই ধাতব দণ্ডটি বাড়ীর দেওয়াল বাহিয়া চলিয়া যায়। দণ্ডটির নীচের প্রান্তটি উপযুক্তভাবে মাটির নীচে পুঁতিয়া রাখা হয় এবং উপরের প্রান্তটিকে বাড়ীর সর্বোচ্চ অংশের চেয়েও কয়েক ফুট উঁচুতে রাখা হয়। দণ্ডের উপর প্রান্তে কয়েকটি সূচীমুখ বিদ্যমান থাকে।

মনে কর, ধনাত্মক আধানে আহিত একখণ্ড মেঘ বাড়ীটির উপরে আছে। তড়িতাবেশের ফলে দণ্ডটির সূচীমুখে ঋণাত্মক এবং নীচের প্রান্তে ধনাত্মক আধান

আবিষ্ট হইবে। দণ্ডটি পৃথিবীর সহিত যুক্ত বলিয়া ধনাত্মক আধান পৃথিবীর মধ্যে চলিয়া যাইবে। সূচীমুখে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বেশী বলিয়া সূচীমুখ হইতে তড়িৎমোক্ষণ ঘটিবে এবং দণ্ডটির ধনাত্মক আধান আংশিকভাবে কমিয়া যাইবে। দণ্ডটির মধ্যে আবিষ্ট আধানের পরিমাণ কমিয়া যাওয়ার দরুন বজ্রপাত না-ও ঘটিতে পারে। যদি বজ্রপাত ঘটিয়াও থাকে তবে তাহার তীব্রতা কম হইবে এবং উহা বাড়ীর মধ্য দিয়া গমন না করিয়া বজ্ররক্ষী দণ্ডের মধ্য দিয়া গমন করিবে। ইহার ফলে বজ্রপাতের হাত হইতে বাড়ীটি রক্ষা পাইবে।

সঠিক ফল পাইতে হইলে দণ্ডটিকে ভালভাবে মাটিতে পুঁতিতে হইবে এবং দণ্ডটির মাঝখানে কোথাও কাটা থাকিলে চলিবে না। তাছাড়া, দণ্ডটিকে যথেষ্ট পরিমাণে মোটা করিতে হইবে যাহাতে বজ্রপাতজনিত তড়িৎ প্রবাহের ফলে উহা গলিয়া না যায়। কোন অঞ্চলে সর্বোচ্চ বাড়ী, বিদ্যায়তন, বারুদের কারখানা ও গুদাম, সরকারী দলিলখানা ইত্যাদিতে বজ্রদণ্ড লাগানো উচিত।

বজ্রপাত এবং বজ্রনাদ একই সময়ে ঘটিয়া থাকে। কিন্তু আলোকের গতিবেগ শব্দের গতিবেগ অপেক্ষা অনেক বেশী হওয়ায় বজ্রনাদের শব্দ বজ্রপাতের অনেক পরে আসিয়া পৌঁছায়। সুতরাং কোন ব্যক্তি যদি বজ্রপাতের শব্দ শুনিয়া থাকে তাহা হইলে সে ক্ষেত্রে বজ্রপাতের জন্য তাহার মরিবার আর কোন ভয় থাকিবে না।

প্রশ্নাবলী

1. পরিবাহী, অপরিবাহী ও অন্তরিত পরিবাহী বলিতে কি বুঝায় তাহা উদাহরণের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। [Explain with the help of examples what is meant by conductors, insulators and insulated conductors.]

2. স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্য-প্রণালী ব্যাখ্যা কর। যন্ত্রটিকে আবেশ পদ্ধতিতে তড়িতাহিত করিবে কিরূপে? [Describe and explain the working of a gold-leaf electroscope. How will you charge the instrument by induction ?]

3. তড়িতাহিত-করণের ইলেকট্রন-তত্ত্ব ব্যাখ্যা কর। ইহার সাহায্যে ব্যাখ্যা কর যে, ঘর্ষণের ফলে সমপরিমাণ বিপরীতধর্মী আধানের উদ্ভব ঘটে। [Explain electrification with the help of electron theory. Explain with its help that two kinds of equal but opposite charges are generated due to friction.]

4. তড়িতাবেশ বলিতে কি বুঝায়? পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে আবেশের ফলে সমপরিমাণ বিপরীতধর্মী আধানের উদ্ভব ঘটিয়া থাকে। [What is meant by electrostatic induction ? With the help of an experiment, prove that equal but opposite charges appear due to induction.]

5. ফ্যারাডের বরফ-পাত্র পরীক্ষার বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে প্রমাণ কর যে, আবেশের ফলে সমপরিমাণ বিপরীত ধর্মী আধানের উদ্ভব ঘটে এবং আবেশ সম্পূর্ণ হইলে আবেশী আধান ও আবিষ্ট আধান পরস্পর সমান হইয়া থাকে। [Describe with Faraday's Ice-pail experiment and with its help, prove that equal but opposite charges are produced due to induction and the inducing and the induced charges are equal when the induction is complete.]

6. সূচীমুখে তড়িৎ মোক্ষণ বলিতে কি বুঝায়? এই নীতি বজ্ররক্ষী দণ্ডে কিভাবে কাজে লাগান হয়, তাহা ব্যাখ্যা কর। [Explain, what is understood by electric discharge at points? Illustrate how this principle has been utilised in the construction of a lightning conductor.]

7. পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে, পরিবাহী বস্তুতে আধান সর্বদাই বস্তুটির বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। [With the help of experiment prove that the charge also resides on the outer surface of a charged conductor.]

8. আধানের তল-মাত্রিক ঘনত্ব বলিতে কি বুঝায়? বিভিন্ন আকারের পরিবাহী পৃষ্ঠে আধানের বণ্টন কিরূপ হইবে? [What is meant by surface density of charge. What will be the distribution of charge on the surface of conductors of different shape.]

9. বজ্ররক্ষী দণ্ড কাহাকে বলে? ইহার উপযোগিতা ব্যাখ্যা কর। [What is meant by a lightning conductor. Explain its usefulness.]

দ্বিতীয় অধ্যায়

বিদ্যুৎ বলক্ষেত্র ও বিভব

(Electric Field and Potential)

2-1. **কুলম্বের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র** (Coulcmb's Inverse Square Law) : আমরা জানি যে সমধর্মী আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং বিষমধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে। কুলম্বের সূত্র অনুসারে আকর্ষণ বা বিকর্ষণের পরিমাণ নির্ণয় করা সম্ভব। সূত্রটি নিম্নরূপ :

দুইটি আধানের মধ্যে আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল আধান দুইটির গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

1787 খ্রীষ্টাব্দে কুলম্ব প্রথম এই সূত্রটি আবিষ্কার করেন। উপরোক্ত বল দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক বলিয়া উহাকে **কুলম্বের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র**-ও বলা হয়।

যদি q_1, q_2 আধানের মধ্যে দূরত্ব r হয় এবং উহাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল F হয় তবে

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{বা,} \quad F = \frac{1}{K} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

এখানে K একটি ধ্রুবক। ইহার মান আধান-দুইটি যে মাধ্যমে আছে তাহার প্রকৃতির উপর নির্ভর করে এবং এই ধ্রুবককে **তড়িৎ মাধ্যমাংক বা অন্তরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক** (dielectric constant) বলা হয়।

2-2. **আধানের একক** (Unit of charge) : যে পরিমাণ আধান শূন্য মাধ্যমে 1 সেমি. দূরত্বে অবস্থিত একই পরিমাণ সমধর্মী আধানকে এক ডাইন বলে বিকর্ষিত করে তাহাকে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে **একক আধান** (Unit charge) বলা হয়। এই এককে **স্থির বৈদ্যুতিক একক** (Electrostatic Unit বা e. s. u.)-ও বলা হয়। সুতরাং এই পদ্ধতিতে, $q_1 = q_2 = 1$, $r = 1$ এবং $F = 1$.

$$\therefore \; 1 = \frac{1}{K} \cdot \frac{1.1}{1^2} \quad \text{বা,} \; K = 1$$

বায়ু মাধ্যমের ক্ষেত্রেও K-এর মান 1 ধরা যাইতে পারে।

সুতরাং স্থির বৈদ্যুতিক এককে আধান প্রকাশিত হইলে, বায়ু মাধ্যমে

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

আধানের ব্যবহারিক একক 1 **কুলম্ব** এবং 1 কুলম্ব $= 3 \times 10^9$ e. s. u.

ইহা ছাড়া আধানের আর একটি একক আছে তাহার নাম ইলেক্‌ট্রোম্যাগনেটিক একক (Electro-magnetic unit)।

1 ইলেক্‌ট্রো-ম্যাগনেটিক একক $= 10$ কুলম্ব $= 3 \times 10^{10}$ e. s. u.

2-3. **বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র ও প্রাবল্য** (Electric field and intensity): কোন আধানের চারিপার্শ্বে যতদূর পর্যন্ত উহার প্রভাব অনুভব করা যায় তাহাকে উক্ত আধানের **বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র** বলে। সুতরাং বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে কোন ধনাত্মক আধান রাখিলে ইহা আকর্ষিত অথবা বিকর্ষিত হইবে।

বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে একক পরিমাণ ধনাত্মক আধান রাখিলে উহা যে বল অনুভব করিবে তাহা ঐ বিন্দুতে **বিদ্যুৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য** বা **ক্ষেত্র প্রাবল্য** (intensity of electric field) সূচিত করে। সুতরাং q আধানের জন্য বায়ু মাধ্যমে r দূরত্বে ক্ষেত্র প্রাবল্যের পরিমাণ,

$$F = \frac{q.1}{r^2} = \frac{q}{r^2}$$

আধান স্থির বৈদ্যুতিক এককে এবং দূরত্ব সেন্টিমিটারে প্রকাশিত হইলে ক্ষেত্রপ্রাবল্যের একক ডাইন প্রতি স্থির বৈদ্যুতিক একক আধানে (dynes per e.s.u. of charge) হইবে।

2-4. **বৈদ্যুতিক বলরেখা** (Electric lines of Force): বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রে বাধাহীন ধনাত্মক আধানের গতিপথকে **বলরেখা** বলা হয়। বলরেখার যে-কোন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের অভিমুখ সূচিত করে। যে কোন বলরেখা ধনাত্মক আধান হইতে বাহির হইয়া ঋণাত্মক আধানে শেষ হয়। চৌম্বক বলরেখার মত এক্ষেত্রেও দুইটি বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করিবে না। কিন্তু স্থির বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে যে কোন পরিবাহীর ভিতর কোন বলরেখা থাকিতে পারে না।

বৈদ্যুতিক বলরেখার ধর্ম :

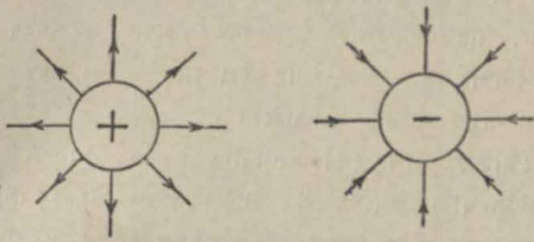
(i) বৈদ্যুতিক বলরেখাগুলি ধনাত্মক আধান হইতে বাহির হইয়া ঋণাত্মক আধানে শেষ হয়। কোন পরিবাহীর ভিতর কোন বলরেখা থাকিতে পারে না।

(ii) বলরেখাগুলি পরিবাহী তলকে লম্বভাবে স্পর্শ করে।

(iii) প্রত্যেকটি বলরেখার দুই প্রান্তে সমপরিমাণ বিপরীতধর্মী আধান থাকিবে।

(iv) বলরেখাগুলি টান করা স্থিতিস্থাপক সূত্রের ন্যায় অনুদৈর্ঘ্যভাবে (longitudinally) সংকুচিত হয় কিন্তু উহারা আড়াআড়িভাবে (laterally) পরস্পর চাপ দেয়। এই কারণের জন্যই দুইটি বলরেখার মধ্যে বিকর্ষণ ঘটিয়া থাকে।

(v) দুইটি বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করিতে পারে না। কারণ ইহা সম্ভব হইলে ছেদবিন্দুর মধ্য দিয়া দুইটি বলরেখাতে দুইটি স্পর্শক টানা যাইতে পারিত।

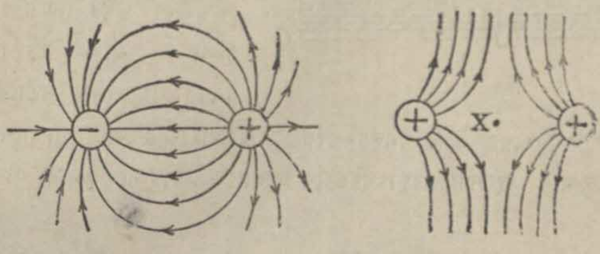


(a) (b)

চিত্র—2 ক

সংজ্ঞানুসারে স্পর্শক দুইটি ছেদ বিন্দুতে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের লব্ধির দিক নির্দেশ করিবে। কিন্তু একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে কোন লব্ধির দুইটি অভিমুখ থাকিতে পারে না। সুতরাং দুইটি বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করিবে না।

2ক নং চিত্রে, (*a*) ধনাত্মক আধানের জন্য, (*b*) ঋণাত্মক আধানের জন্য, (*c*) ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের জন্য, এবং (*d*) ধনাত্মক ও ধনাত্মক আধানের জন্য



(c) (d)

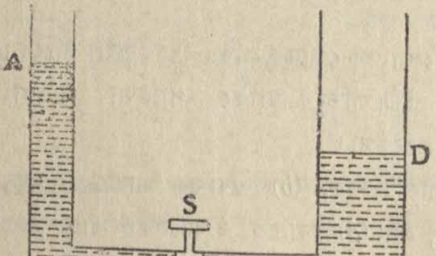
চিত্র—2 ক

বলরেখাগুলির সাধারণ বিন্যাস দেখান হইয়াছে। শেষের চিত্রে X বিন্দুতে কোন লব্ধি ক্ষেত্র থাকিবে না। এই বিন্দুতে কোন আধান রাখিলে তাহার উপর কোন বল ক্রিয়া করিবে না। এই ধরনের বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু (Neutral point) বলা হয়। বলরেখার সাহায্যে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রকে সম্পূর্ণরূপে প্রকাশিত করা যায়।

2.5. **তড়িৎ-বিভব** (Electric potential) : একটি ধনাত্মক আধানে আহিত এবং আর একটি অনাহিত পরিবাহী বস্তুর মধ্যে সংযোগ স্থাপন করিলে প্রথম বস্তুটি হইতে দ্বিতীয় বস্তুটিতে ধনাত্মক আধান প্রবাহিত হইবে। সমপরিমাণ আধানে আহিত দুইটি একই ধরনের পরিবাহী বস্তুর মধ্যে সংযোগ স্থাপন করিলে, তাহাদের পরস্পরের মধ্যে আধানের কোন প্রবাহ ঘটিবে না। কিন্তু সমপরিমাণ আধানে আহিত বিভিন্ন

ব্যাসার্ধের দুইটি পরিবাহী গোলকের মধ্যে সংযোগ স্থাপন করিলে ছোট ব্যাসার্ধের গোলকটি হইতে অপর গোলকটিতে আধানের প্রবাহ ঘটিবে। পরিবাহী বস্তুর তড়িৎ-বিভবের উপর তড়িৎ-প্রবাহ নির্ভরশীল। কোন বস্তুর তড়িৎ-বিভবের মান বস্তুটির আধান, আকার, আয়তন ইত্যাদির উপর নির্ভর করে। উচ্চ-বিভব সম্পন্ন বস্তু হইতে নিম্নবিভব সম্পন্ন বস্তুতে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিয়া থাকে। নিম্নলিখিত তুলনাগুলির সাহায্যে ঘটনাটি আরও ভালভাবে বুঝা যাইবে :

(i) **উদস্থৈতিক তুলনা** (Hydrostatic analogy) : AB এবং CD পাত্র দুইটি BC নল দ্বারা যুক্ত (চিত্র 2খ)। BC নলে একটি স্টপ-কক্ (S) আটকানো আছে। স্টপ-কক্ বন্ধ রাখিয়া পাত্র দুইটিতে জল ঢালা হইল। এইবার স্টপককৃটি খুলিয়া দিলে যে পাত্রটিতে জলের উচ্চতা বেশী সেই পাত্র হইতে অপর পাত্রটিতে জলের প্রবাহ ঘটিতে থাকিবে, যতক্ষণ না উভয় পাত্রের জল একই উচ্চতা বিশিষ্ট হয়। জলের প্রবাহ জলের মোট পরিমাণের উপর নির্ভর করিবে না কিন্তু উহা জলের উচ্চতার উপর নির্ভর করিবে। অনুরূপভাবে বিদ্যুৎ-প্রবাহ বিদ্যুৎ-বিভবের উপর নির্ভর করে কিন্তু আধানের মোট পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। সুতরাং বিদ্যুৎ বিভবকে জলের উচ্চতার সঙ্গে তুলনা করা যাইতে পারে।



চিত্র—2 খ

(ii) বিভিন্ন তাপমাত্রাবিশিষ্ট দুইটি বস্তুর তাপীয় সংযোগ ঘটিলে যতক্ষণ না বস্তু দুইটির তাপমাত্রা এক হয় ততক্ষণ উচ্চ তাপমাত্রাবিশিষ্ট বস্তু হইতে নিম্ন তাপমাত্রা-বিশিষ্ট বস্তুতে তাপপ্রবাহ ঘটিবে। তাপপ্রবাহ বস্তু দুইটির তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে কিন্তু তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করিবে না। অনুরূপভাবে তড়িৎ প্রবাহ তড়িৎ বিভবের উপর নির্ভর করে কিন্তু আধানের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। এইক্ষেত্রে বিদ্যুৎ বিভবকে তাপমাত্রার সহিত তুলনা করা যাইতে পারে।

সুতরাং, **কোন আহিত বস্তুর তড়িৎ-বিভব বলিতে এমন একটি তড়িতাবস্থা বোঝায় যাহার উপর অন্যান্য বস্তুর সহিত আহিত বস্তুটির সহিত আধানের আদান-প্রদান নির্ভর করে।** উচ্চ বিভব-সম্পন্ন বস্তু হইতে নিম্ন বিভব-সম্পন্ন বস্তুতে আধান প্রবাহিত হইবে।

2-6. তড়িৎ বিভবের পরিমাণ (Measure of electric potential) : অসীম দূরত্ব হইতে একক ধনাত্মক আধানকে বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিতে যে পরিমাণ কাজ করিতে হয় তাহা ঐ বিন্দুতে **তড়িৎ-বিভব** সূচিত করে। ইহা সাধারণত V দ্বারা প্রকাশিত হয়। সুতরাং অসীম দূরত্ব হইতে q পরিমাণ আধানকে ঐ বিন্দুতে আনিতে যে কাজ (W) করিতে হইবে তাহার পরিমাণ, $W = V \times q$

অর্থাৎ, কাজের পরিমাণ = তড়িৎ-বিভব × আধান।

2-7. বিভব প্রভেদ (Potential difference) : তড়িৎ-ক্ষেত্রে অবস্থিত A এবং B দুইটি বিন্দুতে তড়িৎ-বিভব যথাক্রমে V_a এবং V_b হইলে বিন্দুদ্বয়ের বিভব-প্রভেদ $V_a - V_b$ হইবে। যদি q পরিমাণ আধানকে B বিন্দু হইতে A বিন্দুতে স্থানান্তরিত করা হয় তবে যে কাজ (W) করিতে হইবে তাহার পরিমাণ,

$$W = (V_a - V_b)\,q$$

বিভব প্রভেদের একক (Units of potential difference) : $W = (V_a - V_b)q$ রাশিটিতে $q = 1$ এবং $W = 1$ বসাইলে $V_a - V_b = 1$ হইবে। সুতরাং, এক একক আধানকে একটি বিন্দু হইতে আর একটি বিন্দুতে স্থানান্তরিত করিতে যদি এক একক কাজের প্রয়োজন হয় তবে ঐ বিন্দুদ্বয়ের বিভব-প্রভেদ এক একক হইবে।

যদি এক স্থির বৈদ্যুতিক একক (e. s. u) ধনাত্মক আধানকে এক বিন্দু হইতে আর একটি বিন্দুতে স্থানান্তরিত করিতে 1 আর্গ (erg) কাজের প্রয়োজন হয় তবে বিন্দুদ্বয়ের বিভব-প্রভেদ 1 e. s. u. হইবে। এই একক খুব বড় বলিয়া ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ভোল্টকে বিভব-প্রভেদের একক হিসাবে ধরা হয়।

ভোল্ট (Volt) : এক কুলম্ব ধনাত্মক আধানকে এক বিন্দু হইতে আর একটি বিন্দুতে স্থানান্তরিত করিতে 1 জুল (Joule) কাজের প্রয়োজন ঘটিলে বিন্দুদ্বয়ের বিভব-প্রভেদ 1 **ভোল্ট** হইবে।

বিভব প্রভেদের ক্ষেত্রে 1 স্থির বৈদ্যুতিক একক ভোল্টের 300 গুণ।

ইলেকট্রন ভোল্ট (Electron-Volt) : দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব প্রভেদ 1 ভোল্ট হইলে এবং একটি ইলেকট্রনের যে পরিমাণ আধান আছে সেই পরিমাণ আধানকে এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে লইয়া যাইতে প্রয়োজনীয় কার্যের পরিমাণকে 1 **ইলেকট্রন ভোল্ট** বলা হয়। আমরা জানি,

কাজ = বিভব-প্রভেদ × আধান

$\therefore$ 1 ইলেকট্রন-ভোল্ট (eV) = 1 ভোল্ট × 1 ইলেকট্রনিক আধান,

$$= \frac{1}{300} \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10} \text{ আর্গ}$$

$$= 1{\cdot}6 \times 10^{-12} \text{ আর্গ।}$$

[$\because$ 1 ভোল্ট = 1/300 ই. এস. ইউ.

এবং 1 ইলেকট্রনিক আধান = $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ ই. এস ইউ.]

1 মিলিয়ান ইলেকট্রন ভোল্ট (MeV) = 10^6 × ইলেকট্রন ভোল্ট

$$= 10^6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-12} = 1{\cdot}6 \times 10^{-6} \text{ আর্গ।}$$

এই ধরনের একক পারমাণবিক বিজ্ঞানে বিশেষ ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

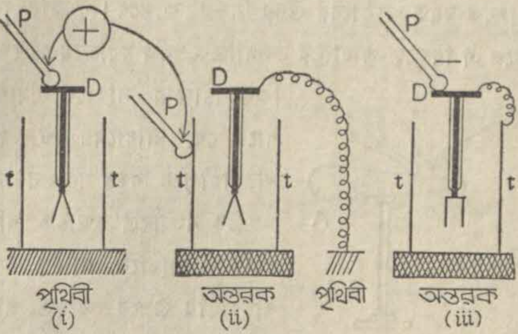
2·8. পৃথিবীর বিভব (Earth-potential) :

গলন্ত বরফের তাপমাত্রা 0° সেন্টিগ্রেড ধরিয়া আমরা কোন বস্তুর তাপমাত্রা মাপিয়া থাকি। অনুরূপভাবে কোন প্রমাণ (Standard) বস্তুর বিভব শূন্য ধরিয়া তাহার সাপেক্ষে অন্য কোন বস্তুর বিভব প্রভেদকে এই বস্তুটির বিভব বলা হইয়া থাকে। সাধারণত পৃথিবীর বিভবকে শূন্য ধরা হইয়া থাকে। পৃথিবী সুপরিবাহী এবং ধারণ ক্ষমতাও অসীম। সামান্য পরিমাণ জলের আদান-প্রদানে যেমন সমুদ্রের জলের লেভেলের কোন পরিবর্তন ঘটেনা, অনুরূপভাবে সামান্য পরিমাণ আধানের আদান-প্রদান ঘটিলেও পৃথিবীর বিভবের কোন পরিবর্তন ঘটিবে না। সমুদ্রের তলকে শূন্য ধরা হয় এবং তাহার সাপেক্ষে বিভিন্ন বস্তুর উচ্চতা মাপা হয়। অনুরূপভাবে পৃথিবীর বিভবকে শূন্য ধরিয়া বিভিন্ন বস্তুর বিভব মাপা হয়। পৃথিবীর সাপেক্ষে কোন বস্তু উচ্চ বিভব-যুক্ত হইলে বস্তুটিকে ধনাত্মক বলা হয়। সেক্ষেত্রে বস্তুটির সহিত পৃথিবীর সংযোগ ঘটিলে বস্তুটি হইতে ধনাত্মক আধান পৃথিবীতে প্রবাহিত হইবে। অপরপক্ষে পৃথিবীর সাপেক্ষে কোন বস্তুর বিভব কম হইলে বস্তুটি ঋণাত্মক হইবে। সেক্ষেত্রে সংযোগ সাধিত হইলে পৃথিবী হইতে বস্তুটির মধ্যে ধনাত্মক আধান প্রবাহিত হইবে।

সে সমস্ত পরিবাহী পৃথিবীর সঙ্গে যুক্ত তাহাদের বিভবও শূন্য হইবে।

2·9. স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ বিভব-প্রভেদের পরিমাপক (Gold-leaf electroscope is a measurer of potential difference) **:** স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণে পত্র দুইটির বিপরীত দিকে দুইটি টিনের পাত থাকে এবং প্রয়োজন মত টিনের পাত দুইটিকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করিবার ব্যবস্থা থাকে। এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন বস্তুতে তড়িতের অবস্থিতি এবং প্রকৃতি নির্ণয় করা হয়। কোন আহিত বস্তুকে তড়িৎ

বীক্ষণের নিকটে অথবা সংস্পর্শে আনিলে স্বর্ণপত্রদ্বয় কিছু পরিমাণ বিভব অর্জন করে। টিনের পাত দুইটি পৃথিবীর সহিত যুক্ত থাকিলে স্বর্ণপত্র ও টিনের পাতের ভিতর বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় এবং পত্র দুইটির বিস্ফারণ ঘটে।



চিত্র—2 গ

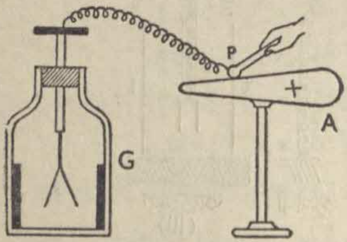
2গ (i) নং চিত্রে তড়িৎ বীক্ষণের টিনের পাত দুইটি পৃথিবীর সহিত যুক্ত এবং ধনাত্মক আধানে আহিত P দণ্ডকে তড়িৎ বীক্ষণের চাকতির উপর রাখা হইয়াছে। পৃথিবীর সহিত যুক্ত বলিয়া টিনের পাতের বিভব শূন্য ; কিন্তু আহিত দণ্ডের জন্য স্বর্ণপত্রের বিভব ধনাত্মক হইবে। টিনের পাত ও স্বর্ণপত্রের মধ্যে বিভব প্রভেদ থাকার জন্য পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ ঘটিবে। ঋণাত্মক আধান সংস্পর্শে আনিলেও একই ফল পাওয়া যাইবে ; কিন্তু সেক্ষেত্রে পত্রদ্বয়ের বিভব ঋণাত্মক হইবে।

2গ (ii) নং চিত্রে টিনের পাত দুইটিকে অন্তরক পাটাতনের উপর রাখা হইয়াছে এবং তড়িৎ বীক্ষণের চাকতিটিকে পৃথিবার সহিত যুক্ত করা হইয়াছে। সুতরাং পত্রদ্বয়ের বিভব শূন্য হইবে। আহিত দণ্ডটিকে টিনের পাতের সহিত স্পর্শ করাইলে ইহার বিভব বাড়িয়া যাইবে। টিনের পাত এবং পত্রদ্বয়ের মধ্যে বিভব প্রভেদের জন্য পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ ঘটিবে। বিভব-প্রভেদের পরিমাণ বেশী হইলে বিস্ফারণের পরিমাণও বেশী হইবে।

2গ (iii) নং চিত্রে তড়িৎ বীক্ষণকে অন্তরিত পাটাতনের উপর রাখিয়া চাকতিটিকে টিনের পাতের সহিত যুক্ত করা হইয়াছে। এই অবস্থায় চাকতিটিকে আহিত দণ্ডের সহিত স্পর্শ করাইলে অথবা চাকতির উপর যে কোন পরিমাণ আধান দিলেও পত্রদ্বয়ের কোন বিস্ফারণ ঘটিবে না। ইহার কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে যে, চাকতি এবং টিনের পাত একসঙ্গে যুক্ত থাকার দরুণ উহারা সর্বদাই সমবিভবে থাকিবে এবং কোন বিভব প্রভেদ না থাকার জন্য পত্রদ্বয়ের কোন বিস্ফারণ ঘটিবে না।

সুতরাং আমরা বলিতে পারি যে, স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ বিভব-প্রভেদের পরিমাপক।

2-10. তড়িতাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সম বিভব যুক্ত (Surface of a charged conductor is equipotential) : আমরা জানি যে কোন পরিবাহীতে আধান সর্বদাই বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। তাছাড়া অসম আকারের পরিবাহীপৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব আকারের উপর নির্ভর করিবে। কোন বিন্দুতে বক্রতা বেশী বা কম হইলে ঐ বিন্দুতে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব যথাক্রমে বেশী বা কম হইবে।



চিত্র—2 ঘ

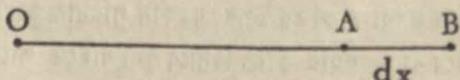
কিন্তু পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যাইতে পারে যে, আধানের বণ্টন বিভিন্ন হইলেও পরিবাহীপৃষ্ঠে বিভব সর্বত্র সমান থাকিবে।

2ঘ নং চিত্রে অন্তরিত পরিবাহী *A*-কে ধনাত্মক আধানে আহিত করা হইয়াছে। পরিবাহীর উপরে অবস্থিত আধান পরীক্ষক *P*-কে লম্বা তারের সাহায্যে দূরে অবস্থিত তড়িৎ বীক্ষণের সহিত যুক্ত করা হইয়াছে। যন্ত্রটি দূরে আছে বলিয়া আহিত বস্তুর জন্য উহার উপর কোন তড়িতাবেশ ঘটিবে না। আধান পরীক্ষকটি আহিত বস্তুর উপর আছে বলিয়া স্বর্ণপত্রের বিস্ফারণ ঘটিবে। এইবার *P*-কে পরিবাহীর পৃষ্ঠ বরাবর বিভিন্নস্থানে লইয়া যাইলেও বিস্ফারণের কোন পরিবর্তন ঘটিবে না। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, তড়িতাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সম-বিভব যুক্ত।

2.11. বিভব এবং ক্ষেত্রের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between potential and intensity) : মনে কর X-অক্ষের উপর A, B দুইটি বিন্দু (চিত্র 2ঙ) মূলবিন্দু O হইতে A এবং B-এর দূরত্ব যথাক্রমে x এবং $x+dx$ ধরা হইল। A বিন্দুতে বিভব v এবং B বিন্দুতে বিভব $v+dv$ হইলে

বিন্দুদ্বয়ের বিভব প্রভেদ $= v-(v+dv) = -dv.$

A বিন্দুতে ক্ষেত্রের প্রাবল্য F এবং উহার অভিমুখ OA এর দিকে ধরা হইল। সুতরাং A বিন্দুতে অবস্থিত একক আধানের উপর বলের পরিমাণ F হইবে। A



চিত্র—2 ঙ

এবং B বিন্দু খুব কাছাকাছি থাকার জন্য AB-এর যে কোন স্থানে ক্ষেত্রের প্রাবল্য F ধরা যাইতে পারে। একক আধানকে A হইতে B বিন্দুতে সরাইতে হইলে কার্যের

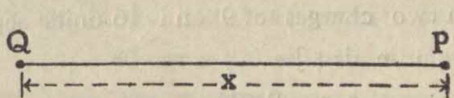
পরিমাণ $F \times dx$ হইবে। একক আধানকে সরাইতে যে কার্যের প্রয়োজন হয় তাহাকে বিভব প্রভেদ বলা হয়।

$$\therefore \; F.\,dx = -dv \text{ বা, } F = -dv/dx.$$

সুতরাং, দূরত্ব সাপেক্ষে বিভবের পরিবর্তনের হারকে ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা যাইতে পারে। মনে রাখিতে হইবে যে বিভব বলিতে কাজ করা বুঝায়। সুতরাং ইহা একটি স্কেলার রাশি। কিন্তু ক্ষেত্রের প্রাবল্যের পরিমাণ ও দিক নির্দেশ থাকার জন্য উহা একটি ভেক্টর রাশি।

2. 12. বিন্দু আধানের জন্য যে কোন বিন্দুতে বিভব (Potential at any point due to a point charge) :

মনে কর Q বিন্দুতে Q পরিমাণ আধান আছে এবং উহার জন্য x দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করিতে হইবে (চিত্র 2চ)।



চিত্র—2 চ

মাধ্যমের তড়িৎ মাধ্যমাংক K হইলে ক্ষেত্রের প্রাবল্য $(F) = \frac{Q}{Kx^2}$.

$$\text{বা, } \; F = \frac{Q}{Kx^2} = -\frac{dv}{dx}$$

$$\therefore \; dv = -\frac{Q}{Kx^2}.\, dx$$

ইন্টিগ্রেশন করিলে আমরা পাই,

$$V = -\int \frac{Q}{Kx^2}.\, dx + C \text{ [এখানে } C = \text{ইন্টিগ্রেশন ধ্রুবক]}$$

$$= \frac{Q}{Kx} + C$$

কিন্তু অসীম দূরত্বে বিভব শূন্য হইবে অর্থাৎ $x = \infty$ হইলে $V = 0$ এবং সেক্ষেত্রে C-এর মানও শূন্য হইবে।

$$\text{সুতরাং } V = \frac{Q}{Kx}.$$

বায়ু মাধ্যমে (প্রকৃতপক্ষে শূন্য মাধ্যমে), $K = 1$, সেক্ষেত্রে $V = \frac{Q}{x}$.

যদি একাধিক আধান যথা $Q_1, Q_2, Q_3, \cdots\cdots$ P বিন্দু হইতে যথাক্রমে $x_1, x_2, x_3, \cdots\cdots$ দূরত্বে থাকে তাহা হইলে P বিন্দুতে বিভবের পরিমাণ

$$V_p = \frac{Q_1}{Kx_1} + \frac{Q_2}{Kx_2} + \frac{Q_3}{Kx_3} + \cdots\cdots = \frac{1}{K}\sum\frac{Q}{x}.$$

$$= \sum\frac{Q}{x}. \quad [\,K=1 \text{ হইলে}\,]$$

যে সমস্ত আধানগুলি ঋণাত্মক তাহাদের ক্ষেত্রে ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহার করিতে হইবে।

উদাহরণঃ

1. বায়ু মধ্যে 9 একক এবং 16 এককের দুইটি আধান পরস্পর হইতে 12 সেমি. দূরে থাকিলে উহাদের ভিতর কত বল ক্রিয়া করিবে? [What will be the force between two charges of 9 and 16 units separated by a distance of 12 cm. in air ?]

উ। নির্ণেয় বল, $F = \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 16}{12^2} = 1$ ডাইন

2. A এবং B দুইটি ছোট গোলক পরস্পর হইতে 28 সেমি. দূরে অবস্থিত। তাহাদের আধানের পরিমাণ যথাক্রমে $+9$ এবং $+16$ একক হইলে AB রেখার উপরে এবং A হইতে কত দূরে আধান দুইটির জন্য ক্ষেত্রের প্রাবল্য একই হইবে? [A and B are two small spheres, charged with +9 and +16 units of electricity respectively. The distance between them is 28 cm. How far from A along the line AB will the intensities due to the charges be equal ?]

উ। মনে কর A বিন্দু হইতে x দূরত্বে আধান দুইটির জন্য ক্ষেত্রের প্রাবল্য সমান হইবে।

$$\therefore \quad \frac{9}{x^2} = \frac{16}{(28-x)^2} \qquad \text{বা,} \quad \frac{3}{x} = \pm\frac{4}{28-x}.$$

বা $84 - 3x = \pm 4x$

সুতরাং $x = 12$ সেমি. বা -84 সেমি.

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে (অর্থাৎ -84 সেমি.-এর ক্ষেত্রে) বিন্দুটি A হইতে 84 সেমি. দূরে এবং B-এর বিপরীত দিকে থাকিবে।

3. হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের মধ্যে কি পরিমাণ বল ক্রিয়া করিবে ? ধরিয়া লও, ইলেকট্রনের আধান $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ ই. এস্. ইউ এবং ইলেকট্রন-অক্ষের গড় ব্যাসার্ধ $= 10^{-8}$ সেমি.। [Calculate the electrical force between the electron and proton of a hydrogen atom. Assume that the electronic charge $= 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e. s. u. and the average radius of the electronic orbit $= 10^{-8}$ cm.]

উ। আমরা জানি প্রোটনের আধান সংখ্যাগতভাবে ইলেকট্রন আধানের সমান।

$$\therefore \text{ নির্ণেয় বল} = \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{4{\cdot}8 \times 10^{-10} \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10}}{(10^{-8})^2}$$

$$= 2{\cdot}3 \times 10^{-3} \text{ ডাইন।}$$

আধান দুইটি বিপরীত ধর্মী বলিয়া তাহারা পরস্পর পরস্পরকে আকর্ষণ করিবে।

4. 10 সেমি. বাহু বিশিষ্ট $ABCD$ বর্গ ক্ষেত্রের চারটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে $+100$, $+50$, -50 এবং $+100$ একক আধান আছে। কর্ণদ্বয়ের ছেদ-বিন্দু O এবং AD-এর মধ্য বিন্দু E হইলে O এবং E বিন্দুতে বিভব নির্ণয় কর। $+2$ একক আধানকে O হইতে E বিন্দুতে সরাইতে কার্যের পরিমাণ নির্ণয় কর। [Four point charges $+100$, $+50$, -50 and $+100$ units are placed respectively at the corners of a square ABCD of side 10 cm. If O be the point of intersection of the diagonals and E the middle point of AD, then calculate (i) the potentials at O and E and also (ii) the work done in taking a point charge of $+2$ unit from O to E.]

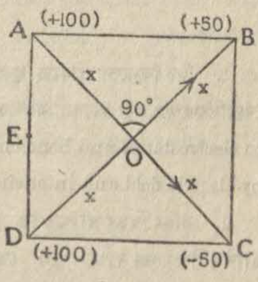
উ। কর্ণদ্বয় পরস্পরকে সমকোণে ছেদ করে বলিয়া (চিত্র 2ছ),

$$x^2 + x^2 = 10^2 = 100. \text{ বা } x = \sqrt{50}.$$

$\therefore$ O বিন্দুতে বিভব,

$$V_0 = \frac{100}{x} + \frac{50}{x} - \frac{50}{x} + \frac{100}{x} = \frac{200}{x} = \frac{200}{\sqrt{50}}$$

$$= 28{\cdot}3 \text{ একক।}$$



চিত্র—2 ছ

অনুরূপভাবে, $V_E = \frac{100}{5} + \frac{50}{BE} - \frac{50}{CE} + \frac{100}{5}$

$$= 40 \qquad [\because \; BE = CE]$$

কার্যের পরিমাণ, $W = q \times (V_E - V_O)$

$$= 2 \times (40 - 28{\cdot}3) = 23{\cdot}4 \text{ একক।}$$

5. $8{\cdot}9 \times 10^{-28}$ গ্রাম ভরবিশিষ্ট এবং $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ ই. এস্. ইউ. আধান বিশিষ্ট একটি ইলেকট্রন স্থির অবস্থান হইতে যাত্রা করে এবং অন্য একটি বিন্দুতে উহার গতিবেগের পরিমাণ হয় 10^9 সেমি./সে.। বিন্দু দুইটির বিভব প্রভেদ ভোল্টে নির্ণয় কর। [An electron of mass $8{\cdot}9 \times 10^{-28}$ gm. and of negative charge $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e. s. u. starts from rest from a point and reaches another point with a velocity of 10^9 cm./sec. Find out the potential difference between the two points in volts.]

মনে কর নির্ণেয় বিভব প্রভেদ $= V$ ভোল্ট $= V/300$ ই. এস্. ইউ.

$\therefore$ ইলেকট্রনের উপর কৃত কার্য = বিভব-প্রভেদ × আধান

$$= \frac{V}{300} \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10} \text{ আর্গ}$$

এই কার্য গতিশক্তিরূপে প্রকাশিত হয়।

$\therefore$ গতিশক্তি $= \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 8{\cdot}9 \times 10^{-28} \times (10^9)^2$ আর্গ

$$\therefore \frac{V}{300} \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10} = \frac{1}{2} \times 8{\cdot}9 \times 10^{-28} \times (10^9)^2$$

$$\text{বা,} \quad V = \frac{300}{2} \times \frac{8{\cdot}9 \times 10^{-28} \times 10^{18}}{4{\cdot}8 \times 10^{-10}}$$

$$= 277{\cdot}9 \text{ ভোল্ট।}$$

প্রশ্নাবলী

1. স্থির বিদ্যুতের ক্ষেত্রে কুলম্বের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র লিখ এবং একক আধানের সংজ্ঞা দাও। বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র এবং প্রাবল্য বলিতে কি বুঝায়? [Describe Coulomb's Inverse law as applied to electrostatics and hence obtain the definition of unit charge. What are meant by electric field and intensity ?]

2. তড়িৎ বিভব বলিতে কি বুঝায়? কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের পরিমাণ কত হইবে? নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা দাও: (i) ভোল্ট, (ii) ইলেকট্রন-ভোল্ট।

[What is meant by electric potential ? What will be the measure of electric potential at a point. Dfine volt and electron-volt.

3. পৃথিবীর বিভবকে শূন্য ধরা হয় কেন?

[Why is the potential of earth assumed to be zero ?]

4. তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ ক্ষেত্র বলিতে কি বুঝায়? তাহাদের মধ্যে সম্পর্ক বাহির কর।

[What is understood by electric potential and electric field. Find out a relation between them.]

5. বিন্দু আধানের জন্য যে কোন বিন্দুতে বিভব কত হইবে তাহা বাহির কর।

[Find out the potential at any point due to a point charge.]

6. বৈদ্যুতিক বল রেখা কাহাকে বলে? তাহাদের ধর্মাবলী লিখ।

[What are electric lines of force ? State their prorperties.]

7. প্রমাণ কর যে, স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ বিভব-প্রভেদের পরিমাপক।

[Show that a gold leaf electroscope is a measurer of potential difference.

8. প্রমাণ কর যে, তড়িতাহিত পরিবাহী পৃষ্ঠ সম-বিভব যুক্ত।

[Prove that the surface of a charged conductor is equipotential.]

9 A negatively charged pith-ball weighing 0·1 gm. is held in equilibrium in space by a charged body at a distance of 2 cm. above it. If the negative charge on the pith-ball be 20 e. s. u. what should be the amount of charge on the other body ? Assume $g=980$ cm./sec^2. [**Ans :** 19·6 e. s. u.]

10. A conducting plate is charged to a potential of 4000 volts. A second metal plate charged to a potential of 1000 volts is brought near the first to a distance of 10 cms. What is the field intensity at any point between the plates ?

[**Ans :** 1 e. s. u.]

11. Charges of magnitude 1, 2, 3, 4 e. s. u. are placed respectively at the corners A, B, C, D of a square of side 2 cms. Find the work done taking a charge of 5 e. s. u. from the mid-point of CD. [**Ans :** 11·06 ergs.]

12. Calculate the amount of work done to transfer an electronic charge ($4{\cdot}8\times10^{-10}$ e. s. u.) through a p.d. of 3 million volts. [**Ans :** $4{\cdot}8\times10^{-6}$ ergs.]

13. Two brass plates are arranged horizontally, one 2 cm. above the other, and the lower plate is earthed. The plates are charged to a difference of potential of 6000 volts. A drop of oil with an electrical charge of $4{\cdot}774\times10^{-10}$ e. s. u. is in equilibrium between the plates so that it neither rises nor falls. What is the mass of the drop ? [**Ans ;** $4{\cdot}866\times10^{-12}$ gm.]

তৃতীয় অধ্যায়

ধারকত্ব ও ধারক

(Capacitance and Capacitors)

3.1. পরিবাহীর ধারকত্ব (Capacitance of a Conductor)

কোন পরিবাহী বস্তুতে আধান দিলে উহার বিভব বাড়িয়া যায়। বস্তুটিতে প্রদত্ত আধানের পরিমাণ Q এবং তজ্জনিত বিভব বৃদ্ধির পরিমাণ V হইলে,

$$Q \propto V \quad \text{বা} \quad Q = CV$$

এখানে C একটি ধ্রুবক সংখ্যা এবং ইহাকে পরিবাহীটির **ধারকত্ব** বলা হয়। ইহার মান পরিবাহীর ক্ষেত্রফল, পরিবাহীর চতুর্দিকস্থ মাধ্যম এবং অন্যান্য পরিবাহী বস্তুর সান্নিধ্যের উপর নির্ভরশীল।

উপরের সমীকরণে $V=1$ বসাইলে, $Q=C$ হইবে। সুতরাং কোন পরিবাহীর তড়িৎ বিভব এক একক বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয় তাহা সংখ্যাগতভাবে পরিবাহীটির ধারকত্বের সমান।

বিভিন্ন ধারকত্ব-বিশিষ্ট বিভিন্ন পরিবাহীতে নির্দিষ্ট পরিমাণ আধান যোগ করিলে প্রত্যেকেরই বিভব বৃদ্ধি ঘটিবে কিন্তু বৃদ্ধির পরিমাণ বিভিন্ন হইবে। অনুরূপ একটি ঘটনার উল্লেখ করিলে জিনিসটি বুঝিতে সুবিধা হইবে। বিভিন্ন আকার ও আয়তন বিশিষ্ট বিভিন্ন পাত্রে নির্দিষ্ট পরিমাণ জল ঢালিলে প্রত্যেকটিতে জলের লেভেল বাড়িয়া যাইবে কিন্তু তাহাদের লেভেল বিভিন্ন হইবে।

3.2. ধারকত্বের একক (Units of Capacitance) : আমরা জানি $Q=CV$ এবং এই সমীকরণে $Q=1$ এবং $V=1$ বসাইলে $C=1$ হইবে। সুতরাং কোন পরিবাহীতে এক একক আধান দিলে বিভব বৃদ্ধির পরিমাণ যদি এক একক হয়, তাহা হইলে পরিবাহীটির ধারকত্ব এক একক হইবে। ধারকত্ব বিভিন্ন এককে প্রকাশিত করা হয়; যথা: (i) **স্থির-তাড়িতিক একক** বা ই. ইস্. ইউ. (electrostatic unit বা e. s. u.), (ii) **তড়িৎ চুম্বকীয় একক** (electro magnetic unit বা e. m. u) এবং (iii) **ব্যবহারিক একক**।

1 ই. ইস্. ইউ. পরিমাণ আধান দেওয়ার ফলে কোন পরিবাহীর বিভব বৃদ্ধির পরিমাণ 1 ই. এস্. ইউ. হইলে পরিবাহীটির ধারকত্ব 1 ই. এস্. ইউ. হইবে। শূন্য মাধ্যমে 1 সেমি. ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট গোলকের ধারকত্ব 1 ই. এস্. ইউ. হইয়া থাকে।

সংখ্যাগতভাবে শূন্য মাধ্যমে গোলকের ধারকত্ব উহার ব্যাসার্ধের সমান বলিয়া ধারকত্বকে অনেক সময় সেন্টিমিটারে প্রকাশ করা হইয়া থাকে। স্থির-তাড়িতিক একক খুব ছোট বলিয়া ব্যবহারিক ক্ষেত্রে উহার বিশেষ প্রয়োগ দেখা যায় না।

তড়িত চুম্বকীয় পদ্ধতিতে এক একক ধারকত্বের পরিবাহীতে 1 ই. এম্. ইউ. পরিমাণ আধান প্রদান করিলে উহার বিভব বৃদ্ধির পরিমাণ 1 ই. এম. ইউ. হইবে। এই ধরনের একক আকারে খুব বড়।

ধারকত্বের ব্যবহারিক এককের নাম ফ্যারাড। এক কুলম্ব আধান প্রদানের ফলে কোন পরিবাহীর বিভব বৃদ্ধির পরিমাণ এক ভোল্ট হইলে পরিবাহীটির ধারকত্ব এক ফ্যারাড হইবে। একক হিসাবে ফ্যারাড আকারে খুব বড় বলিয়া ব্যবহারিক ক্ষেত্রে মাইক্রোফ্যারাড, পিকো-ফ্যারাড ইত্যাদি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

1 মাইক্রোফ্যারাড (μF) $=10^{-6}$ ফ্যারাড

1 পিকো-ফ্যারাড (pF) $=10^{-12}$ ফ্যারাড।

বেতার এবং টেলিভিসন প্রযুক্তি বিদ্যায় পিকোফ্যারাড এককটি বিশেষভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

ই. এস্. ইউ. এবং ফ্যারাড-এর মধ্যে সম্পর্ক :

আমরা জানি, 1 কুলম্ব $=3\times10^9$ ই. ইস্. ইউ. আধান এবং 1 ভোল্ট $=\frac{1}{300}$ ই. এস্. ইউ. বিভব-প্রভেদ।

$$\therefore\ 1 \text{ ফ্যারাড} = \frac{1 \text{ কুলম্ব}}{1 \text{ ভোল্ট}} = \frac{3\times10^9}{1/300}$$

$$= 9\times10^{11} \text{ ই. এস্. ইউ. ধারকত্ব}$$

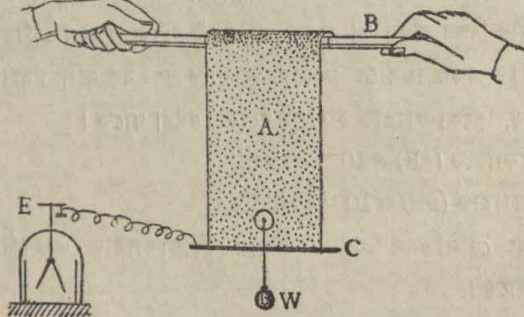
সুতরাং, 1 মাইক্রোফ্যারাড $=9\times10^5$ ই. এস্. ইউ. এবং 1 পিকো ফ্যারাড $=0{\cdot}9$ ই. এস্. ইউ.।

3.3. পরিবাহীর ধারকত্ব যে সব বিষয়ের উপর নির্ভর করে (Factors affecting Capacitance of a Conductor) :

আমরা জানি ধারকত্ব, $C=Q/V$. নির্দিষ্ট পরিমাণ আধানের জন্য C এবং V পরস্পর ব্যস্তানুপাতিক হইবে। সুতরাং যে সমস্ত বিষয়গুলির উপর V-এর মান নির্ভরশীল, সে সমস্ত বিষয়গুলির জন্য C-এর মানও পরিবর্তিত হইবে। কিন্তু মনে রাখিতে হইবে যে, নির্দিষ্ট আধানের জন্য তড়িৎ বিভব কম হইলে ধারকত্বের মান বেশী হইবে। নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর ধারকত্বের মান নির্ভরশীল :

(a) **পরিবাহীর আকার ও ক্ষেত্রফল** : বিচ্ছিন্নভাবে অবস্থিত কোন পরিবাহীর ধারকত্বের মান তাহার আকার ও ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করিবে। পরিবাহীর ক্ষেত্রফল বাড়িলে বিভব-প্রভেদ কমিয়া যায় এবং ধারকত্ব বাড়িয়া যায়। নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে ইহা দেখান যাইতে পারে :

প্রায় 1 ফুট লম্বা ও 8 ইঞ্চি চওড়া ধাতব পাত A-কে এবোনাইট দণ্ড B-হইতে ঝুলাইয়া রাখা হইয়াছে (চিত্র 3ক)। সামান্য পরিমাণ ওজন W দেওয়ার জন্য



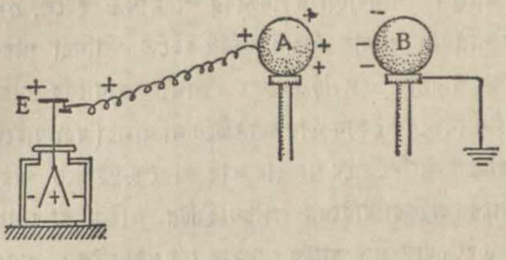
চিত্র—3 ক

ধাতব পাতটি টান টান হইয়া ঝুলিয়া থাকিবে। ধাতব পাতটিকে তারের সাহায্যে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র E-এর সঙ্গে যুক্ত করা হয়। ধাতব পাতটিতে নির্দিষ্ট পরিমাণ আধান দিলে বীক্ষণ যন্ত্রের স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ ঘটিবে। B-দণ্ডের সাহায্যে ধাতব পাতটি কিছু গুটাইয়া লইলে দেখা যাইবে যে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বাড়িয়া গিয়াছে। ইহা প্রমাণ করে যে, পাতটির বিভব বৃদ্ধি প্রাপ্ত হইয়াছে এবং আধানের পরিমাণ অপরিবর্তিত আছে বলিয়া পাতটির ধারকত্ব হ্রাস পাইয়াছে। ধাতব পাতটির ক্ষেত্রফল বাড়াইলে তড়িৎ বিভব কমিয়া যাইবে এবং ধারকত্ব বাড়িয়া যাইবে। সুতরাং পরিবাহীর ধারকত্ব উহার ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভরশীল।

একই ক্ষেত্রফল-বিশিষ্ট বিভিন্ন আকারের পরিবাহী লইয়া পরীক্ষাটি করিলে দেখা যাইবে যে, স্বর্ণ পত্রের বিস্ফারণ বিভিন্ন হইতেছে। সুতরাং পরিবাহীর ধারকত্ব আকারের উপরেও নির্ভরশীল।

(b) **অন্যান্য পরিবাহীর সান্নিধ্য** : কোন পরিবাহীর ধারকত্বের মান আশেপাশে অবস্থিত অন্যান্য পরিবাহীর উপরেও নির্ভরশীল। অন্তরিত পরিবাহী A-কে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র E-এর সহিত যুক্ত করিয়া পরিবাহীটিকে আধান দিলে স্বর্ণপত্র-দ্বয়ের বিস্ফারণ ঘটিবে (চিত্র 3খ)। কিন্তু পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত পরিবাহী B-কে

পরিবাহী A-এর নিকট আনিলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ কমিয়া যাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে, অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্যের জন্য যে কোন পরিবাহীর তড়িৎ বিভব কমিয়া



চিত্র—3 খ

যায় এবং সেই সূত্রে ধারকত্ব বাড়িয়া যায়। পরিবাহী B-কে আরও কাছে আনিলে বিস্ফারণ আরও কমিয়া যাইবে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, পরিবাহীর ধারকত্ব আরও বাড়িয়া গিয়াছে। কোন পরিবাহীর ধারকত্বের মান অন্যান্য পরিবাহীর সান্নিধ্য এবং পারস্পরিক দূরত্বের উপর নির্ভরশীল।

(C) **পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতি :** পরিবাহীর চারি পার্শ্বে যে মাধ্যম থাকে তাহার প্রকৃতির উপরেও পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ভরশীল। বায়ু মাধ্যমে কোন পরিবাহীর ধারকত্ব C ধরা হইল। পরিবাহীটিকে অন্য মাধ্যমে রাখিলে ধারকত্ব বাড়িয়া যাইবে। মাধ্যমের পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক K হইলে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ধারকত্বের পরিমাণ KC হইবে।

3.4. **পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব** (Capacitance of a Spherical Conductor) **:** r ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট পরিবাহী গোলকে Q পরিমাণ আধান দেওয়া হইল। ইহার ফলে গোলকের তড়িৎ বিভব বাড়িয়া যাইবে। এই বৃদ্ধির পরিমাণ V হইলে এবং পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক K হইলে প্রমাণ করা যায় যে, $V = Q/Kr$

$$\therefore \text{ ধারকত্ব, } C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Q/Kr} = Kr.$$

বায়ু মাধ্যমে $K=1$ এবং সেইক্ষেত্রে $C=r$. সুতরাং বায়ু মাধ্যমে অবস্থিত পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব সংখ্যাগতভাবে উহার ব্যাসার্ধের সমান। এই কারণেই ধারকত্বকে অনেক সময় সেন্টিমিটার এককে প্রকাশ করা হয়। কোন গোলকের ব্যাসার্ধ 1 সেন্টিমিটার হইলে বায়ু মাধ্যমে তাহার ধারকত্ব 1. ই. এস্. ইউ. হইবে।

3.5. আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি (Potential energy of a charged conductor) : মনে কর, কোন ধারকের ধারকত্ব C এবং তাহাতে q পরিমাণ আধান আছে। পরিবাহীটির বিভবের পরিমাণ v হইলে, $q=Cv$ হইবে। এক্ষণে যৎসামান্য পরিমাণ আধান dq-কে অসীম হইতে আনিয়া পরিবাহীতে যোগ করিলে কৃত কার্যের পরিমাণ $v \times dq$ হইবে। আনীত আধানের পরিমাণ যৎসামান্য বলিয়া পরিবাহীটির বিভবের কোন তারতম্য ঘটিবে না বলিয়া ধরা যাইতে পারে। কিন্তু dq পরিমাণ আধানকে আনিতে যে পরিমাণ কার্য করিতে হইয়াছে পরিবাহীটির স্থিতি শক্তি সেই পরিমাণে বাড়িয়া যাইবে। পরিবাহীটির অন্তিম আধানের পরিমাণ Q, বিভবের মান V এবং মোট কৃত কার্যের পরিমাণ W ধরা হইল। সেক্ষেত্রে

$$W = \text{পরিবাহীর স্থিতিশক্তি} = \int_0^Q v\,dq = \int_0^Q \frac{q}{C}\,dq. \qquad [\because\ q=Cv]$$

$$= \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 \qquad [\because\ Q=CV]$$

C এবং V ই. এস্. ইউ এককে প্রকাশিত হইলে স্থিতি শক্তির একক আর্গ হইবে। কিন্তু C ফ্যারাডে এবং V ভোল্টে প্রকাশিত হইলে নির্ণেয় স্থিতিশক্তির একক জুল হইবে।

3.6. বিভিন্ন বিভব-যুক্ত দুইটি পরিবাহীর ভিতর আধানের বণ্টন (Sharing of charges between two conductors at different potentials) : দুইটি পরিবাহীর ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2 এবং বিভব V_1, V_2 ধরা হইল। উহাদের আধানের পরিমাণ যথাক্রমে Q_1, Q_2 হইলে $Q_1 = C_1V_1$ এবং $Q_2 = C_2V_2$.

পরিবাহী দুইটিকে ধাতব তারের দ্বারা যুক্ত করিলে, উহারা যতক্ষণ এক বিভবযুক্ত না হয় ততক্ষণ উচ্চ বিভবযুক্ত পরিবাহী হইতে অন্যটিতে আধানের প্রবাহ চালতে থাকিবে। সংযোগের পর সমবিভবের পরিমাণ V ধরা হইল। পরিবাহী দুইটি সমান্তরাল সমবায়ে থাকার জন্য তাহাদের তুল্যাঙ্ক ধারকত্ব, $C = C_1 + C_2$ হইবে। পরিবাহী দুইটিতে মোট আধানের পরিমাণ Q হইলে,

$$Q = CV = (C_1 + C_2)V$$

তাছাড়া সংযোগের পূর্বে এবং পরে মোট আধানের পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকিবে।

$$\therefore\ Q = Q_1 + Q_2$$

বা, $(C_1 + C_2)V = C_1V_1 + C_2V_2$

$$\text{বা,}\quad V=\frac{C_1V_1+C_2V_2}{C_1+C_2}=\frac{Q_1+Q_2}{C_1+C_2}.$$

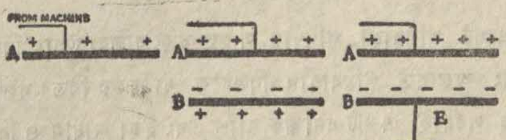
সংযোগের পর পরিবাহী দুইটিতে আধানের বন্টন যথাক্রমে q_1 এবং q_2 হইলে,

$$q_1=C_1V=C_1\frac{(Q_1+Q_2)}{C_1+C_2}=\frac{C_1Q}{C_1+C_2}.$$

$$\text{এবং}\quad q_2=C_2V=C_2\frac{(Q_1+Q_2)}{C_1+C_2}=\frac{C_2Q}{C_1+C_2}.$$

3.7. ধারকের মূলতত্ত্ব (Principle of a Capacitor) : মনে কর, অন্তরিত পরিবাহী A-কে তড়িৎ উৎসের ধনাত্মক মেরুর সহিত যুক্ত করা হইয়াছে (চিত্র 3 গ)। ইহার ফলে পরিবাহীটির তড়িৎ বিভব V হইয়াছে ধরা হইল। অন্য একটি অন্তরিত পরিবাহী B-কে পূর্বেকার পরিবাহীর নিকটে আনিলে আধানের আবেশ ঘটিবে। দ্বিতীয় পরিবাহীর ভিতরের দিকে আবিষ্ট ঋণাত্মক আধান প্রথম পরিবাহীটির তড়িৎ বিভব কমাইয়া দিবে কিন্তু বাহিরের দিকে আবিষ্ট ধনাত্মক আধান প্রথম পরিবাহীটির তড়িৎ বিভব বাড়াইয়া দিবে। কিন্তু আবিষ্ট ধনাত্মক আধান দূরে থাকার জন্য তড়িৎ বিভব বৃদ্ধির পরিমাণ অপেক্ষাকৃতভাবে কম হইবে। ইহার ফলে দ্বিতীয় পরিবাহীর উপস্থিতির জন্য প্রথম পরিবাহীর তড়িৎ বিভব কমিয়া যাইবে এবং ধারকত্ব বাড়িয়া যাইবে।

এইবার দ্বিতীয় পরিবাহীটিকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করা হইল। ইহার ফলে আবিষ্ট মুক্ত আধান পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে এবং দ্বিতীয় পরিবাহীটিতে কেবল মাত্র



চিত্র—3 গ

আবিষ্ট ঋণাত্মক আধান থাকিয়া যাইবে। এই ঋণাত্মক আধান প্রথম পরিবাহীটির তড়িৎ বিভব কমাইয়া দিবে এবং ফল স্বরূপ তড়িৎ উৎস হইতে আরও আধান প্রথম পরিবাহীতে আসিয়া জমা হইবে। ইহার ফলে দ্বিতীয় পরিবাহীটিতে আবিষ্ট ঋণাত্মক আধানের পরিমাণ আরও বাড়িয়া যাইবে যাহার ফলে প্রথম পরিবাহীটির তড়িৎ বিভব আবার কমিয়া যাইবে। সুতরাং তড়িৎ উৎস হইতে আরও আধান প্রথম পরিবাহীতে আসিয়া সঞ্চিত হইবে। সুতরাং নির্দিষ্ট তড়িৎ বিভবের জন্য অপেক্ষাকৃতভাবে বেশী পরিমাণে আধানের প্রয়োজন ঘটিতেছে। এই ধরনের ব্যবস্থাকে **ধারক** বলা হয়।

চিত্রে পরিবাহী দুইটি সমান্তরাল পাত বলিয়া এই ধরনের ধারককে সমান্তরাল পাত ধারক বলা হয়। সমান্তরাল পাতের জায়গায় দুইটি সমকেন্দ্রিক গোলক থাকিলে তাহাকে গোলীয় ধারক বলা হইত। সুতরাং যে কোন ধারকে দুইটি পরিবাহী থাকিবে এবং তাহাদের মধ্যে একটি ভূসংলগ্ন এবং অন্যটি অন্তরিত থাকিবে। এই ব্যবস্থার জন্য পরিবাহীর ধারকত্ব বাড়িয়া যায়।

ধারকের সাহায্যে তড়িৎ বিভব নির্দিষ্ট হইলেও পরিবাহীতে বেশী পরিমাণ আধান রাখা সম্ভব। কেবলমাত্র একটি পরিবাহী থাকিলে এবং তাহাতে আধান বাড়াইতে থাকিলে উহার তড়িৎ বিভব ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিবে এবং শেষ পর্যন্ত বিভব যথেষ্ট বাড়িলে পরিবাহী হইতে আধান ক্ষরিত হইতে থাকিবে। সেক্ষেত্রে পরিবাহীটিতে আর আধান দেওয়া সম্ভব নহে। কিন্তু ধারক নীতি প্রয়োগ করিয়া নির্দিষ্ট তড়িৎ বিভবের জন্য আরও বেশী পরিমাণে আধান দেওয়া সম্ভব। সুতরাং ধারকের জন্য অল্প পরিমাণ স্থানে বেশী পরিমাণ আধান সঞ্চিত রাখা সম্ভব।

3.8. ধারকের ধারকত্ব ও বিভব (Capacitance and potential of a capacitor) : একটি অন্তরিত ও অপরটি পৃথিবীর সহিত যুক্ত পরিবাহীর সমন্বয়ে যে কোন **ধারক** গঠিত হয়। অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্বকে **ধারকের ধারকত্ব** বলা হয়।

আমরা জানি ধারকত্ব, $C=Q/V$

$$\therefore \text{ ধারকের ধারকত্ব} = \frac{\text{অন্তরিত পরিবাহীর আধান}}{\text{পরিবাহীদের বিভব-প্রভেদ}}$$

ধারকের একটি পরিবাহী পৃথিবীর সহিত যুক্ত বলিয়া উহার বিভব সর্বদাই শূন্য হইবে। সুতরাং অন্তরিত পরিবাহীর বিভবকে ধারকের বিভব বলা হইয়া থাকে। ধারকের ধারকত্ব সর্বদাই একটি ধনাত্মক রাশি এবং ইহা আধান ও বিভবের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। পরিবাহীর এবং ধারকের ধারকত্ব একই এককে প্রকাশ করা হয়।

3.9. আপেক্ষিক আবেশী ধারকত্ব বা পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক (Specific Inductive Capacitance or Dielecttric Constant) : ধারকের দুইটি পরিবাহী থাকে এবং তাহাদের ভিতরে অবস্থিত মাধ্যমকে পরা-বিদ্যুৎ (Dielectric) বলা হইয়া থাকে। ধারকের পরা-বিদ্যুৎ হিসাবে বায়ু, প্যারাফিন, গন্ধক, কাচ, এবোনাইট, অভ্র ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। বায়ুর পরিবর্তে অন্য যেকোন মাধ্যম ব্যবহৃত হইলে ধারকের ধারকত্ব বাড়িয়া যায়। এই দুই ধারকত্বের

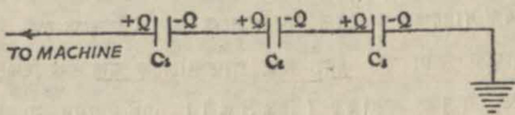
অনুপাতকে ঐ মাধ্যমের আপেক্ষিক আবেশী ধারকত্ব বা **পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক** বলা হয়। ইহাকে সাধারণতঃ K অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয়।

$$\therefore \text{ মাধ্যমের } K = \frac{\text{ধারকের ঐ মাধ্যম লইয়া ধারকত্ব}}{\text{ধারকের বায়ু লইয়া ধারকত্ব}}$$

3. 10. **ধারকের সমবায়** (Combination of Capacitors) :

একাধিক ধারককে শ্রেণী সমবায়ে অথবা সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা যাইতে পারে।

(i) **শ্রেণী সমবায়** (Series combination) : এই ধরনের সমবায়ে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় প্লেটটি দ্বিতীয় ধারকের প্রথম প্লেটের সহিত যুক্ত থাকে।



চিত্র—3 ঘ

অনুরূপভাবে দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় প্লেটটি তৃতীয় ধারকের প্রথম প্লেটের সহিত যুক্ত থাকে এবং অবশিষ্ট ধারকের প্লেটগুলিকেও এইভাবে পরপর যুক্ত করা হয়। শেষ ধারকের দ্বিতীয় প্লেটটিকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 3ঘ)।

প্রথম ধারকের প্রথম প্লেটটিকে মেসিনের সহিত যুক্ত করিলে প্লেটটিতে কিছু পরিমাণ আধান সঞ্চিত হইবে। এই আধানের পরিমাণ Q হইলে আবেশের জন্য প্রথম ধারকের দ্বিতীয় প্লেটটিতে $-Q$ এবং দ্বিতীয় ধারকের প্রথম প্লেটটিতে $+Q$ পরিমাণে আধান আবিষ্ট হইবে। অনুরূপভাবে চিত্রানুযায়ী অন্যান্য ধারকের প্লেটগুলিতেও আধানের আবেশ ঘটিবে। শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে একই পরিমাণ আধান প্রত্যেকটি ধারকে সঞ্চিত থাকে। চিত্রে তিনটি ধারক দেখান হইয়াছে ; উহাদের বিভব-প্রভেদ যথাক্রমে V_1, V_2, V_3 হইলে এবং সমবায়ের মোট বিভব V হইলে,

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

ধারকগুলির ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 হইলে

$$Q = C_1V_1 = C_2V_2 = C_3V_3.$$

$$\therefore \; V_1 = \frac{Q}{C_1}; \; V_2 = \frac{Q}{C_2}; \; V_3 = \frac{Q}{C_3}.$$

সমবায়ের তুল্যাঙ্ক ধারকত্ব C হইলে, $V = Q/C$

$$\therefore \; \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \qquad \left[\because V = V_1 + V_2 + V_3\right]$$

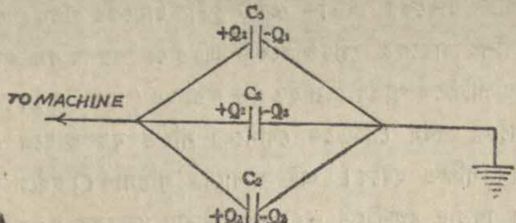
বা, $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$.

n-সংখ্যক ধারক শ্রেণী সমবায়ে থাকিলে এবং তুল্যাঙ্ক ধারকত্ব C হইলে আমরা পাই,

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\cdots\cdots+\frac{1}{C_n}.$$

স্পষ্টতঃই শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্বের মান, সমবায়ের যে কোন ধারকের ধারকত্বের মানের চেয়ে কম হইবে। কিন্তু তুল্য ধারকের বিভব-প্রভেদ প্রত্যেকটি ধারকের বিভব-প্রভেদের যোগফলের সমান হইবে।

(ii) **সমান্তরাল সমবায়** (Parallel combination): সমান্তরাল সমবায়ে একাধিক ধারকের অন্তরিত পাতগুলিকে একটি বিন্দুতে যুক্ত করিয়া তড়িৎ-যন্ত্রের সহিত সংযুক্ত করা হয় এবং অন্য পাতগুলিকে অন্য এক বিন্দুতে যুক্ত করিয়া পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত করা হয় (চিত্র 3 ঙ)। এই ধরনের সমবায়ে প্রত্যেকটি ধারকের একটি পাত তড়িৎ যন্ত্রের সহিত এবং অন্য পাতটি পৃথিবীর সহিত যুক্ত



চিত্র—3 ঙ

থাকার দরুণ প্রত্যেকটি ধারকের বিভব-প্রভেদ একই (ধর, V) থাকিবে। বিভিন্ন ধারকে আধানের পরিমাণ যথাক্রমে Q_1, Q_2, Q_3 হইলে এবং তড়িৎযন্ত্র হইতে আগত আধানের পরিমাণ Q হইলে $Q=Q_1+Q_2+Q_3$

ধারাকগুলির ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 হইলে $Q_1=C_1V$; $Q_2=C_2V$ এবং $Q_3=C_3V$.

তুল্য ধারকত্বের পরিমাণ C হইলে, $Q=CV$.

$\therefore\ CV=C_1V+C_2V+C_3V$ $\quad [Q=Q_1+Q_2+Q_3]$

বা, $C=C_1+C_2+C_3$.

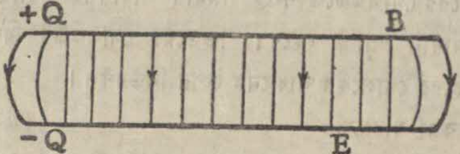
সমান্তরাল সমবায়ে সজ্জিত n-সংখ্যক ধারকের তুল্য ধারকত্ব C হইলে

$$C=C_1+C_2+\cdots\cdots+C_n.$$

স্পষ্টতঃই সমান্তরাল সমবায়ে বিভিন্ন ধারকের ধারকত্বের যোগফল তুল্য ধারকত্বের সমান হইবে। এই ধরনের সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব বেশী হয় কিন্তু বিভব-প্রভেদ অপরিবর্তিত থাকে।

3. 11. **সমান্তরাল পাত ধারক** (Parallel plate capacitor) **:** দুইটি ধাতব পাতকে সমান্তরালভাবে কাছাকাছি রাখিলে যে ধারক গঠিত হয় তাহাকে **সমান্তরাল পাত ধারক** বলা হয়। পাত দুইটির ভিতরে বায়ুমাধ্যম অথবা যে কোন পরা-বিদ্যুৎ যথা প্যারাফিন, গন্ধক, কাঁচ, অভ্র ইত্যাদি থাকিতে পারে। এক্ষণে আমরা সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব নির্ণয় করিব।

মনে কর, দুইটি সমান্তরাল ধাতবপাত, B এবং E, পরস্পর হইতে d দূরত্বে আছে (চিত্র 3 চ)। B পাতটি তড়িৎ উৎসের সহিত এবং E পাতটি পৃথিবীর সহিত যুক্ত। B পাতের উপর আধানের পরিমাণ $+Q$ হইলে, অন্য পাতটিতে $-Q$ পরিমাণ আধান আবিষ্ট হইবে। পাত দুইটির মধ্যে যে মাধ্যম আছে তাহার পরা-



চিত্র—3 চ

বৈদ্যুতিক ধ্রুবক K এবং B পাতের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বকে σ ধরা হইল। পাত দুইটি খুব কাছাকাছি থাকিলে বলরেখাগুলি সমান্তরাল থাকিবে এবং সেক্ষেত্রে পাত দুইটির মধ্যে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য সুষম ধরা যাইতে পারে। প্রাবল্যের পরিমাণ E হইলে প্রমাণ করা যায় যে, $E=4\pi\sigma/K$.

E পাত হইতে একক পরিমাণ আধানকে B পাতে লইয়া যাইতে যে পরিমাণ কার্যের প্রয়োজন তাহা পাত দুইটির বিভব-পার্থক্য সূচিত করিবে। বিভব পার্থক্যের পরিমাণ V হইলে,

$$V = \text{ক্ষেত্রের প্রাবল্য} \times \text{দূরত্ব} = \frac{4\pi\sigma}{K} \times d$$

পাতের ক্ষেত্রফল A হইলে আধানের পরিমাণ, $Q = A \times \sigma$.

$$\therefore \text{ ধারকত্ব, } C = \frac{Q}{V} = \frac{A\sigma}{4\pi\sigma d/K} = \frac{KA}{4\pi d}.$$

পাত দুইটির মধ্যে বায়ু মাধ্যম থাকিলে, $K=1$ হইবে। সেক্ষেত্রে $C = \frac{A}{4\pi d}$.

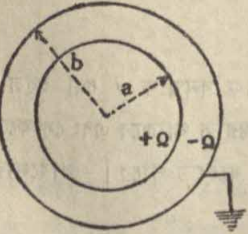
স্পষ্টতঃই দেখা যায় যে, পাত দুইটির ক্ষেত্রফল বেশী হইলে, উহাদের অন্তর্বর্তী দূরত্ব কম হইলে এবং মাধ্যমের পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক বেশী হইলে ধারকের ধারকত্ব C বাড়িয়া যাইবে।

উপরের সমীকরণে রাশিগুলিকে সি. জি. এস. পদ্ধতিতে প্রকাশ করিলে ধারকত্বের একক ই. এস. ইউ. হইবে। ধারকত্বকে ফ্যারাডে এককে পাইতে হইলে, ই. এস. ইউ. এককে প্রকাশিত ফলকে 9×10^{11} দ্বারা ভাগ করিতে হইবে।

3-12. গোলীয় ধারক (Spherical Capacitors) :

গোলীয় ধারকে দুইটি সমকেন্দ্রিক গোলক থাকে এবং উহাদের যে কোন একটিকে তড়িতাহিত করিয়া অপরটিকে পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত রাখা হয়। গোলক দুইটির মাঝখানে বায়ু অথবা অন্য কোন উপযুক্ত মাধ্যম থাকিতে পারে। 3ছ নং চিত্রে a এবং b ব্যাসার্ধের দুইটি গোলক দেখান হইয়াছে এবং বাহিরের গোলকটি পৃথিবীর সঙ্গে যুক্ত আছে। গোলক দুইটির মধ্যে অবস্থিত মাধ্যমের পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক K ধরা হইল। ভিতরের গোলকটিতে $+Q$ পরিমাণ আধান দিলে বাহিরের গোলকটিতে $-Q$ পরিমাণ আধান আবিষ্ট হইবে। ভিতরের গোলকটির বিভব (V) নিজের আধান এবং বাহিরের গোলকের আধানের উপর নির্ভরশীল।

এইক্ষেত্রে প্রমাণ করা যায় যে,



চিত্র—3 ছ

$$V = \frac{Q}{Ka} - \frac{Q}{Kb} = Q.\frac{b-a}{K.a.b}.$$

$\therefore$ ধারকত্ব, $C = \frac{Q}{V} = \frac{K.a.b}{b-a}.$

বায়ু মাধ্যমের ক্ষেত্রে $K=1$

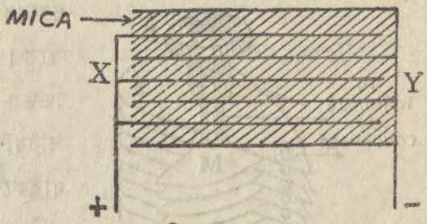
সেক্ষেত্রে ধারকত্ব, $C = \frac{a.b}{b-a}.$

3.13. ব্যবহারিক ধারক : (Practical Capacitors) :

বাজারে বিভিন্ন ধরনের ব্যবহারিক ধারক পাওয়া যায় এবং তাহাদের মধ্যে ব্যবহৃত পরা-বিদ্যুতের নাম অনুসারে ধারকগুলির নামকরণ হইয়া থাকে।

(i) **অভ্র ধারক বা ব্লক ধারক** (Mica Capacitors or Block Capacitors) : এই ধরনের ধারকে পরা-বিদ্যুৎ (dielectric) হিসাবে অভ্র ব্যবহৃত হইয়া থাকে। অভ্রের পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক প্রায় 5। খুব পাতলা পাত হিসাবে অভ্র পাওয়া যায় কিন্তু ইহাকে মোড়ান যায় না। অভ্র-ধারকে কতকগুলি টিনের পাত

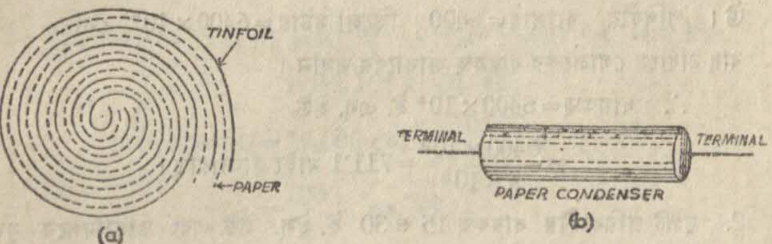
পরপর সমান্তরালে রাখা হয় এবং প্রত্যেক দুইটি পাতের ভিতর অভ্রের পাতলা চাদর রাখা হয়। টিনের পাতগুলি ধারকের পরিবাহী হিসাবে এবং অভ্র পরা-বিদ্যুৎ হিসাবে কাজ করে। টিনের অযুগ্ম পাতগুলিকে একসঙ্গে X-বন্ধনীর সহিত এবং যুগ্ম পাতগুলিকে Y-বন্ধনীর সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 3জ) সুতরাং এই ধরনের ধারক বাস্তব পক্ষে কয়েকটি সমান্তরাল পাত ধারকের সমান্তরাল



চিত্র—3জ

সমবায়। অভ্র ধারকে n-সংখ্যক টিনের পাত থাকিলে সমান্তরাল পাত ধারকের মোট সংখ্যা $(n-1)$ হইবে। এই ধরনের ধারক বেতার প্রযুক্তি বিদ্যায় বেশী কাজে লাগে। অভ্র-ধারক দেখিতে একটি ক্ষুদ্র ফলক বা ব্লকের ন্যায় বলিয়া উহাকে ব্লক ধারক বলা হইয়া থাকে।

(ii) **কাগজ ধারক** (Paper Capacitors): এই ধরনের ধারকে পরা-বিদ্যুৎ হিসাবে প্যারাফিন মোমে ভিজানো পাতলা কাগজ ব্যবহৃত হইয়া থাকে। ইহা দামে সস্তা এবং ইহাকে সহজেই গোটানো যায়। এই ধরনের ধারক প্রস্তুত করিবার

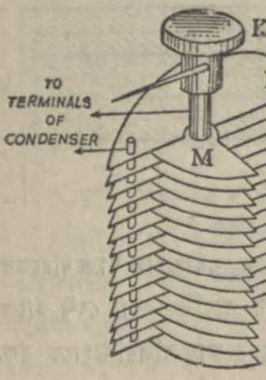


চিত্র—3ঝ

জন্য দুইটি পাতলা টিনের পাতের মধ্যে মোমে ভিজানো পাতলা কাগজ রাখা হয় এবং পাত দুইটিকে পাকাইয়া চোঙাকৃতি করা হয় (চিত্র 3ঝ)। দামে সস্তা হইলেও এই ধরনের ধারকে শক্তির অপচয় বেশী পরিমাণে ঘটিয়া থাকে।

(iii) **পরিবর্তনীয় বায়ু ধারক** (Variable air Capacitors): এই ধরনের ধারক বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এবং অন্যান্য ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে বিশেষভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। ইহাতে দুই সারি (F, M) এলুমিনিয়াম প্লেট থাকে (চিত্র 3ঞ)। তাহার মধ্যে F সারিটি স্থির থাকে এবং M সারিকে বর্তুল K-এর সাহায্যে আস্তে

আস্তে ঘোরান যাইতে পারে। পরপর যে কোন দুইটি পাত একটি সমান্তরাল পাত ধারক সূচিত করে এবং স্পষ্টতঃই বিভিন্ন ধারকগুলি সমান্তরাল সমবায়ে আছে। এই



চিত্র—3 ঞ

ধরনের ধারকে বায়ু পরা-বিদ্যুৎ হিসাবে কাজ করে। বর্তুলকে ঘোরাইলে দুই সারি পাতের ভিতর প্রাবরিত ক্ষেত্রফল (area of overlap) পরিবর্তিত হয় এবং ইহার ফলে ধারকের ধারকত্বেও পরিবর্তন ঘটে। প্রাবরিত ক্ষেত্রফলের পরিমাণ বাড়িলে ধারকত্বও বাড়িয়া যাইবে কিন্তু কমিলে ধারকত্ব কমিয়া যাইবে। ঘূর্ণন-ক্ষম পাতগুলি সম্পূর্ণরূপে স্থির পাতগুলির ভিতরে অবস্থিত হইলে ধারকত্ব সর্বোচ্চ হইবে।

উদাহরণ 1. পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6400 কিলোমিটার হইলে মাইক্রোফ্যারাডে উহার ধারকত্ব নির্ণয় কর। 1 মাইক্রোফ্যারাড $=9\times10^5$ ই. এস্. ইউ.। [Find out the capacitance in micro-farads of the earth whose radius is 6400 km. 1 micro-farad $=9\times10^5$ e. s. u.]

উ। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=6400$ কিলোমিটার $=6400\times10^5$ সেমি.

বায়ু মাধ্যমে গোলকের ধারকত্ব ব্যাসার্ধের সমান।

$\therefore$ ধারকত্ব $=6400\times10^5$ ই. এস্. ইউ.

$$=\frac{6400\times10^5}{9\times10^5}=711{\cdot}1 \text{ মাইক্রোফ্যারাড।}$$

2. দুইটি পরিবাহীর ধারকত্ব 15 ও 30 ই. ইস্. ইউ. এবং তাহাদিগকে যুক্ত করিয়া 180 একক আধান দেওয়া হইল। উহাদের তড়িৎ বিভব এবং আধানের পরিমাণ নির্ণয় কর। [Two conductors of Capacitances of 15 and 30 e. s. u. are connected together and a charge of 180 units is added to them. Find out the common potential and the charges on each conductor.]

উ। সাধারণ বিভব V এবং আধানের পরিমাণ যথাক্রমে Q_1 ও Q_2 হইলে, $Q_1=15V$ এবং $Q_2=30V$ হইবে। কিন্তু মোট আধান $Q_1+Q_2=180$ বা $180=15V+30V=45V$ বা, $V=4$ ই. এস্. ইউ.

$\therefore$ $Q_1=15V=60$ একক এবং $Q_2=30V=120$ একক।

3. 4, 6 ও 8 একক ধারকত্বের তিনটি ধারককে (i) শ্রেণী বদ্ধ সজ্জায়, (ii) সমান্তরাল সজ্জায় যুক্ত করিলে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। [Find out the equivalent capacitance of three capacitors of 4, 6 and 8 e. s. u. Capacitance when connected (i) in series, and (ii) in parallel]

উ। তুল্য ধারকত্ব C ধরা হইল।

শ্রেণীবদ্ধ সজ্জায় $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}=\frac{1}{4}+\frac{1}{6}+\frac{1}{8}=\frac{13}{24}$

$\therefore\ C=\frac{24}{13}$ ই. এস্. ইউ.

সমান্তরাল সজ্জায় $C=C_1+C_2+C_3=4+6+8=18$ ই. এস্. ইউ.।

4. 1 মাইক্রো-ফ্যারাড ধারকত্বের ধারককে 10,000 ভোল্টে আহিত করিয়া তাহাকে তারের ভিতর দিয়া খুব তাড়াতাড়ি অনাহিত করা হইল। সমস্ত শক্তি তাপে রূপান্তরিত হইলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ কত ক্যালরি হইবে? [A capacitance of 1 μF is charged to 10,000 volts and suddenly discharged through a fine wire. If all the energy went to heating the wire, how many calories of heat would be liberated ?]

উ। এখানে $C=1\ \mu F=10^{-6}F=9\times10^{11}\times10^{-6}$ ই. এস্. ইউ.

$=9\times10^5$ ই. এস্. ইউ.

বিভব-প্রভেদ, $V=10{,}000$ ভোল্ট $=\frac{10{,}000}{300}$ ই. এস্. ইউ.

$=\frac{100}{3}$ ই. এস্. ইউ.

উদ্ভূত শক্তি $=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}\times9\times10^5\times\frac{100\times100}{3\times3}$ আর্গ

$=\frac{10^9}{2}$ আর্গ $=\frac{10^9}{2\times4\cdot2\times10^7}$ ক্যালরি

$=12$ ক্যালরি। [$\because$ 1 ক্যালরি $=4\cdot2\times10^7$ আর্গ]

5. দুইটি গোলীয় পরিবাহীর ব্যাসার্ধ 10 এবং 20 সেমি. এবং তাহাদের বিভব 7·5 এবং 10 ই. এস্. ইউ.। তাহাদিগকে তার দ্বারা যুক্ত করিলে সাধারণ বিভব কত হইবে? [Two spherical conductors of radii 10 and 20 cm. are charged to 7·5 and 10 e. s. u. of potential respectively and they

are connected together by a wire. What will be the common potential ?]

উ। $C_1=10$ ই. এস্. ইউ. এবং $C_2=20$ ই. এস্. ইউ.

$$\therefore \text{ সাধারণ বিভব, } V=\frac{C_1V_1+C_2V_2}{C_1+C_2}$$

$$=\frac{10\times7.5+20\times10}{10+20}=\frac{55}{6} \text{ ই. এস্. ইউ.}$$

প্রশ্নাবলী

1, পরিবাহীর ধারকত্ব বলিতে কি বুঝায় তাহা ব্যাখ্যা কর। ধারকত্বের বিভিন্ন এককগুলির সংজ্ঞা দাও এবং ই. এস্. ইউ. ও ফ্যারাড-এর মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[Explain what is meant by the capacitance of a conductor. Define the different units of Capacitance and establish a relation between e.s.u. and Farad.]

2, পরিবাহীর ধারকত্ব কাহাকে বলে ? যে সব বিষয়ের উপর পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ভর করে তাহাদের আলোচনা কর।

[What is meant by the Capacitance of a Conductor ? Discuss the factors which affect the Capacitance of a conductor.]

3. পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব কত হইবে ? অনেক সময় ধারকত্বকে সেন্টিমিটার এককে প্রকাশ করা হয় কেন ?

[What will be the Capaciitance of a spherical Conductor ? Explain why Capacitances are sometimes expressed in centimeters ?]

4. আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি কত হইবে ? দুইটি বিভিন্ন বিভব যুক্ত পরিবাহীকে যুক্ত করিলে সম-বিভবের পরিমাণ এবং আধানের বণ্টন কিরূপ হইবে ?

[What will be the energy of a charged Conductor ? What will be the sharing of charges and the final potential when two conductors of different potentials are connected to each other ?]

5. ধারক কাহাকে বলে ? ধারকের মূলতত্ত্ব ব্যাখ্যা কর। ধারকের ধারকত্ব ও বিভব বলিতে কি বুঝায় ?

[What is a Capacitor ? Explain the principle of a Capacitor. Describe and explain what is meant by the Capacitance and potential of a capacitor.]

6. পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবকের সংজ্ঞা দাও।

[Define di-electric Constant.]

7. একাধিক ধারককে (i) শ্রেণীসমবায়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিলে তুল্য ধারকত্ব কত হইবে ?

[What will be the equivalent Capacity when several capacitors are connected (i) in series and (ii) in parallel ?

8, সমান্তরাল পাতধারক কাহাকে বলে ? এই ধরনের ধারকের ধারকত্ব নির্ণয় কর।

[What is a parallel plate Capacitor ? Find out an expression for the capacitance of such a capacitor.]

9. গোলীয় ধারক কাহাকে বলে ? এই ধরনের ধারকের ধারকত্ব নির্ণয় কর।

[What is a spherical Capacitor ? Find out an expression for the Capacitance of such a Capacitor.]

10. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ :—(i) অভ্রধারক (ii) কাগজ ধারক (iii) পরিবর্তনীয় বায়ু ধারক।

[Write short notes on a (i) Mica capacitor (ii) Paper capacitor and (iii) variable air Capacitor.]

11. দুইটি একই ধরনের ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে এবং শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিলে প্রমাণ কর যে, প্রথম ক্ষেত্রের তুল্য-ধারকত্ব দ্বিতীয় ক্ষেত্রের তুল্যধারকত্ব অপেক্ষা চার গুণ বেশী হইবে।

[Show that when two eqnal Capacitors are connected in parallel, the system has four times the capacitance of that obtained when they are joined in series.]

12. দুইটি ধাতব পাত আছে এবং 6 পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক সম্পন্ন অভ্রের চাকতি আছে। অভ্রের পাত '002 সেমি. পুরু হইলে ধাতব পাতের ক্ষেত্রফল নির্ণয় কর যাহাতে ধারকটির ধারকত্ব '02 মাইক্রোফ্যারাড হইয়া থাকে।

[You are given two plane metal sheets and a sheet of mica of thickness 0 002 cm. and di-electric constant 6. Calculate the area of each of the metal sheets required to construct a condenser of capacity 0·02 microfarad. 1 farad $=9\times10^{11}$ e. s. u.] [Ans. 75·43 sq. cm.]

13. দুইটি পরিবাহীর ধারকত্ব 25 ও 40 ই. এস্. ইউ. এবং তাহাদিগকে যুক্ত করিয়া 260 একক আধান দেওয়া হইল। উহাদের তড়িৎ বিভব এবং আধানের পরিমাণ নির্ণয় কর।

[Two conductors of capacitances of 25 and 40 e. s. u. are connected together and a charge of 260 units is added to them. Find out the common potential and the charges on each conductor.] [Ans : $V=4$; $Q_1=100$; $Q_2=160$].

14. 2, 3 ও 6 একক ধারকত্বের তিনটি ধারককে (i) শ্রেণীবদ্ধ সজ্জায়, (ii) সমান্তরাল সজ্জায় যুক্ত করিলে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

[Find out the equivalent Capacitance of three Capacitors of 2, 3 and 6 e. s. u. Capacitance when connected (i) in series and (ii) in parallel.]

[Ans : (i) 1 ই. এস্. ইউ. ; (ii) 11 ই. এস্. ইউ.]

15. কোন ধারকের ধারকত্ব 3 μF এবং বিভব 10,000 ভোল্ট হইলে ধারকের সঞ্চিত শক্তি আর্গ এবং জুল নির্ণয় কর।

[A Capacitor of Capacitance 3 μF is charged to a p. d. of 10,000 V. Calculate the energy in ergs and Joule.] [Ans : $1·5\times10^9$ আর্গ ; 150 জুল]

16. A Condeser of 10 micro-farad Capacitance is charged to a potential difference of 1000 Volts, then disconnected from the source and connected in paralled with a similar uncharged condenser. Find the final potential difference.

[Ans. 500 Volts]

17. Two isolated spherical Conductors of diameters 20 and 40 cm. are charged to 7·5 and 10 e. s. u. of potential respectively and are then connected together by wire. Find the common potential. [Ans ; 55/6 e. s. u.]

18. A parallel plate condenser of one micro-farad capacity is to be constructed. using paper sheets of 0·05 mm. thickness as the dielectric. Find how many sheets of circular metal foils of diameter 20·0 cm. will be needed for the purpose. Di-electric constant of paper $=4·0$. [Ans : 46]

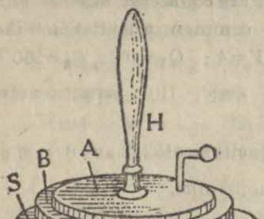
চতুর্থ অধ্যায়

তড়িৎ-যন্ত্র

(Electric Machines)

4.1. **তড়িৎ যন্ত্র** (Electrical machine): যে যন্ত্রের সাহায্যে দ্রুত তড়িতাধান উৎপন্ন করা যায় তাহাকে **তড়িৎ-যন্ত্র** বলে। তড়িৎ-যন্ত্র সাধারণতঃ দুই ধরনের হইতে পারে।

(i) **ঘর্ষণ যন্ত্র** (Frictional Machines) ও (ii) **আবেশ যন্ত্র** (Induction Machines)। তড়িতাধান পাইবার জন্য বর্তমানে ঘর্ষণ যন্ত্র বিশেষ ব্যবহৃত হয় না। আবেশ যন্ত্রের কার্য প্রণালী তড়িতাবেশের নীতির উপর নির্ভরশীল। ইলেক্‌ট্রোফোরাস, ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটর ইত্যাদি আবেশ যন্ত্রের অন্তর্ভুক্ত।



চিত্র—4 ক

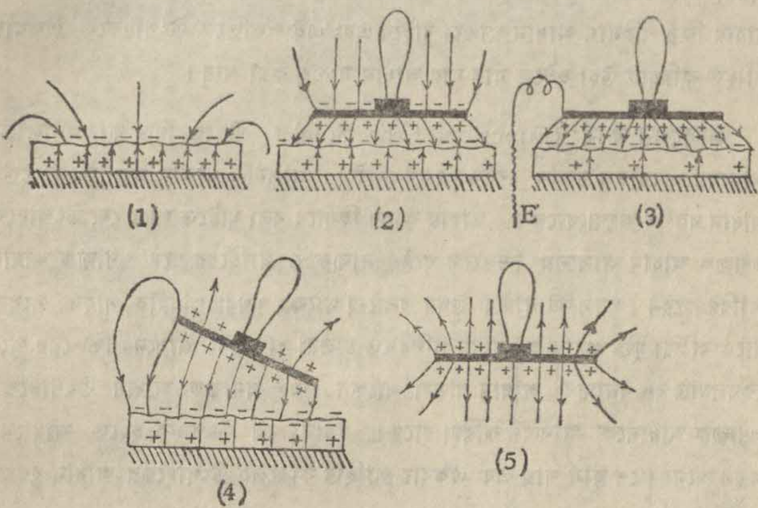
4.2. **ইলেক্‌ট্রোফোরাস** (Electrophorous): 1775 খ্রীষ্টাব্দে ইটালীর বিজ্ঞানী ভোল্টা সহজ ধরনের এই আবেশ যন্ত্রটি আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রের কোন একটি বিশেষ অংশকে আহিত করা হয় এবং সেই আহিত বস্তু হইতে আবেশের জন্য বার বার আধান সংগ্রহ করা যাইতে পারে। এই যন্ত্রটি মূলতঃ তিনটি অংশের সমবায়ে গঠিত। যথা উৎপাদক, সংগ্রাহক এবং আসন (চিত্র 4 ক)।

(i) **উৎপাদক** (Cake): ইহা একটি বৃত্তাকার ইবোনাইটের অথবা অন্য কোন অন্তরক পদার্থের তৈয়ারী চাকতি বিশেষ (B)। ইহার উপরিতল অমসৃণ এবং ইহা আকারে সংগ্রাহক অপেক্ষা কিছু বড়। এই চাকতিটিকে ঘষিয়া আহিত করা হয় এবং আবেশনীতির উপর নির্ভর করিয়া আহিত চাকতি হইতে বার বার আধান সংগ্রহ করা হইয়া থাকে।

(ii) **সংগ্রাহক বা আবরণী** (Collector or Cover): ইহা একটি বৃত্তাকার ধাতব চাকতি (A) এবং ইহার সহিত একটি অন্তরক হাতল (H) যুক্ত থাকে। এই অংশের সাহায্যে আধান সংগ্রহ করা হইয়া থাকে বলিয়া ইহাকে সংগ্রাহক বলা হয়।

(iii) **আসন** (Sole) : ইহা একটি বৃত্তাকার ধাতব চাকতি (S) এবং উৎপাদক অংশটিকে ইহার উপরে রাখা হয়। ইহার ব্যাস উৎপাদকের ব্যাস অপেক্ষা বেশী। উৎপাদক-কে ইহার উপর বসানো হয় বলিয়া ইহাকে আসন বলে।

কার্য প্রণালী : যন্ত্রটির সাহায্যে তড়িৎ-উৎপাদনের পূর্বে যন্ত্রটির বিভিন্ন অংশ ও একটুকরা ফ্ল্যানেল বা ফার-কে ভালভাবে সামান্য উত্তপ্ত করিয়া বা রৌদ্রে গরম



চিত্র—4 থ

করিয়া আর্দ্রতামুক্ত করা হয়। এইবার ফ্ল্যানেল বা ফার দিয়া ঘষিলে উৎপাদকটি ঋণাত্মক আধানে আহিত হইবে। তাহার পর অন্তরক হাতলের সাহায্যে সংগ্রাহককে উৎপাদকের উপর রাখিতে হইবে। উৎপাদকের উপরিতল অমসৃণ বলিয়া ধাতব চাকতিটি উৎপাদকের মাত্র কয়েকটি বিন্দুতে স্পর্শ করিবে এবং উহাদের মধ্যে একটি পাতলা বায়ুস্তর বিদ্যমান থাকিবে। এই কারণেই সংগ্রাহকে পরিবহণ অপেক্ষা তড়িতাবেশের প্রভাব বেশী কার্যকর হয়। উপরে বর্ণিত বায়ুস্তর অন্তরক হিসাবে কাজ করে বলিয়া তড়িতাবেশের জন্য ধাতব চাকতির নীচের তলে ধনাত্মক এবং উপরের তলে ঋণাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হইবে। সংগ্রাহকটিকে মুহূর্তের জন্য হাত দিয়া স্পর্শ করিলে অথবা অন্য কোন উপায়ে ভূমি সংলগ্ন করিলে মুক্ত ঋণাত্মক আধান পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে। এইবার হাতলের সাহায্যে সংগ্রাহককে আস্তে আস্তে সরাইয়া লইলে সংগ্রাহকের তলার পৃষ্ঠে আবিষ্ট বদ্ধ ধনাত্মক আধান উহার সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে।

প্রয়োজন অনুসারে সংগ্রাহকটিকে ধনাত্মক আধানের উৎস হিসাবে ব্যবহার করা যাইতে পারে। 4থ নং চিত্রে উপরে বর্ণিত প্রক্রিয়াগুলি পর পর দেখানো হইয়াছে এবং তীর চিহ্নিত লাইনগুলি বিভিন্ন অবস্থায় বলরেখাগুলির বিন্যাস স্থচিত করিতেছে।

সংগ্রাহকের আধান ব্যবহার করার পর পুনরায় আধান পাইতে হইলে উহাকে তড়িৎ মুক্ত করিয়া পুনরায় উৎপাদকের উপর বসাইতে হইবে। উৎপাদকটিকে নূতন করিয়া আহিত না করিয়াই পূর্ব-বর্ণিত প্রক্রিয়াগুলি পর পর সম্পন্ন করিলে সংগ্রাহকে আবার কিছু পরিমাণ আধান পাওয়া যাইবে এবং এই পদ্ধতিতে উৎপাদককে একবার আহিত করিয়াই উহা হইতে বার বার আধান সংগ্রহ করা যায়।

আসনের কার্য (Function of the Sole) : উপরে বর্ণিত কার্যপ্রণালীতে আসনের প্রয়োজনীয়তার কোন উল্লেখ নাই। আসনটি থাকার জন্য উৎপাদকের আধান বহুক্ষণ অক্ষুণ্ণ থাকে। তাহার কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে যে, উৎপাদকে ঋণাত্মক আধান আসনের ভিতরের পৃষ্ঠে ধনাত্মক ও বাহিরের পৃষ্ঠে ঋণাত্মক আধান আবিষ্ট করে। আসনটি মাটির উপর বসানো থাকে অথবা পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত থাকে বলিয়া মুক্ত ঋণাত্মক আধান পৃথিবীতে চলিয়া যায় এবং আসনের ভিতরের পৃষ্ঠে কেবলমাত্র বদ্ধ ধনাত্মক আধান পড়িয়া থাকে। এই ধনাত্মক আধান উৎপাদকের ঋণাত্মক আধানকে আকর্ষণ করিয়া রাখে। ইহার ফলে উৎপাদক হইতে আধানের ক্ষরণ অনেকাংশে হ্রাস পায় এবং একবার আহিত করিলেই উৎপাদকের আধান বহুক্ষণ স্থায়ী থাকে।

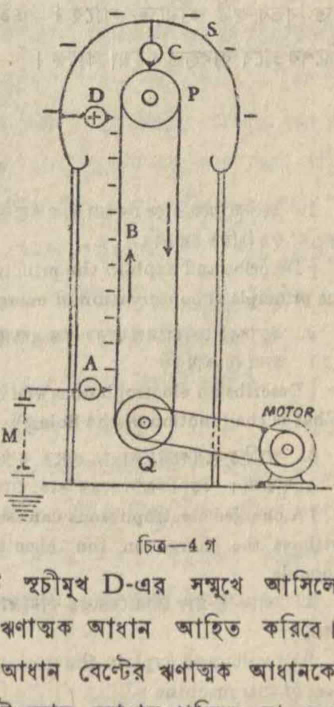
ইলেকট্রোফোরাস ও শক্তির নিত্যতা (Electrophorous and conservation of energy) : তড়িৎ ক্ষরণ না ঘটিলে উৎপাদককে একবার মাত্র আহিত করিয়াই উপযুক্ত পদ্ধতিতে উহা হইতে অসংখ্য আধান সংগ্রহ করা সম্ভব। স্থতরাং ধারণা জন্মিতে পারে যে, অল্প কাজ করিয়া বেশী শক্তি পাওয়া যাইতেছে এবং আপাত দৃষ্টিতে এই ধরনের ঘটনা শক্তির নিত্যতা-সূত্রের বিরোধী বলিয়া মনে হইতে পারে।

নিম্নলিখিত ব্যাখ্যার সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে, এক্ষেত্রেও শক্তির নিত্যতা সূত্র লঙ্ঘিত হয় না :

সংগ্রাহক ও উৎপাদকের আধান সর্বদা বিপরীত ধর্মী বলিয়া পরস্পর পরস্পরকে আকর্ষণ করে এবং সংগ্রাহককে সরাইবার সময় ঐ আকর্ষণের বিরুদ্ধে কিছু কায়িক শক্তি ব্যয়িত করার প্রয়োজন ঘটে। এই কায়িক শক্তি অর্থাৎ যান্ত্রিক শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। স্থতরাং এই যন্ত্রেও শক্তির নিত্যতা সূত্র লঙ্ঘিত হয় না।

4.3. **ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটর** (Van-De-Graaff Generator) : 1931 সালে ভ্যান-ডি-গ্রাফ এই যন্ত্র আবিষ্কার করেন। ইহার সাহায্যে খুব উচ্চমানের বিভব উৎপন্ন করা যায়। কোন আহিত পরিবাহীকে কোন ফাঁপা পরিবাহীর ভিতরের পৃষ্ঠের সংস্পর্শে আনিলে আধান ফাঁপা পরিবাহীতে স্থানান্তরিত হইয়া যায় এবং ইহা পরিবাহীদ্বয়ের বিভবের উপর নির্ভর করে না। এই ধরনের ঘটনাকে ফাঁপা গোলকের সংগ্রাহক ক্রিয়া বলা হয়। সূচীমুখী তড়িৎমোক্ষণ ও ফাঁপা গোলকের পরিবাহীর সংগ্রাহক ক্রিয়ার উপর এই যন্ত্রের কার্যনীতি নির্ভর করে।

4 গ নং চিত্রে এই যন্ত্রের একটি সাধারণ নক্শা দেখানো হইল। এই যন্ত্রে একটি ফাঁপা পরিবাহী গোলক (S) থাকে এবং গোলকটিকে কাচ বা অন্য কোন অন্তরক পদার্থের স্তম্ভের উপর রাখা হয়। সিল্ক বা অন্য কোন নমনীয় অন্তরক পদার্থের একটি বেল্ট P ও Q কপিকলের সহিত সংযুক্ত থাকে। বৈদ্যুতিক মোটরের সাহায্যে কপিকল Q-কে ঘুরাইলে বেল্টটি তীর চিহ্নের অভিমুখে ঘুরিতে থাকিবে। A সূচীমুখটিকে ব্যাটারী অথবা ডায়নামোর সাহায্যে ঋণাত্মক আধানে আহিত করা হয়।



চিত্র—4 গ

সূচীমুখ হইতে তড়িৎ ক্ষরণের জন্য বেল্টের ঋণাত্মক আধান ক্ষরিত হয় এবং আহিত বেল্ট সূচীমুখ D-এর সম্মুখে আসিলে সূচীমুখের উপর ধনাত্মক এবং S-এর উপর ঋণাত্মক আধান আহিত করিবে। সূচীমুখে ক্ষরণের জন্য D-হইতে ক্ষরিত ধনাত্মক আধান বেল্টের ঋণাত্মক আধানকে প্রশমিত করিবে। সুতরাং D বিন্দুর পরে বেল্টে কোন আধান থাকিবে না, এবং ঘোরার জন্য বেল্টটি A বিন্দুতে আসিয়া পৌছাইলে পুনরায় ঋণাত্মক আধানে আহিত হইবে এবং পূর্বে বর্ণিত ঘটনাগুলির পুনরাবৃত্তি ঘটিতে থাকিবে। ইহার ফলে S গোলকের বাহিরের পৃষ্ঠে আধান সঞ্চিত হইতে থাকিবে এবং উহার বিভব ক্রমাগত বাড়িতে থাকিবে। বিভবের মাত্রা খুব বেশী হইলে উচ্চবিভবসম্পন্ন গোলকটি হইতে নিকটবর্তী পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত পরিবাহীতে তড়িৎ মোক্ষণ ঘটিবে। কোন কোন যন্ত্রে আর একটি সূচীমুখ C রাখা হয়। সূচীমুখের সাহায্যে বেল্টে ধনাত্মক আধান দেওয়া হইলে গোলকের বিভব প্রায় দ্বিগুণ বাড়িয়া যায়।

তড়িৎ মোক্ষণ কমাইবার জন্য ধাতব গোলকের বহিঃপৃষ্ঠকে খুব মসৃণ করা হয়। যন্ত্রে ব্যবহৃত বেল্টটিকেও খুব মসৃণ হইতে হইবে। খুব উচ্চমানের বিভব পাইতে হইলে গোটা যন্ত্রটিকে পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত প্রকোষ্ঠের মধ্যে রাখা হয় এবং প্রকোষ্ঠটি উচ্চ চাপের বায়ু অথবা উপযুক্ত অন্য কোন গ্যাস দ্বারা পূর্ণ থাকে। উচ্চচাপের গ্যাস থাকার জন্য তড়িৎমোক্ষণের পরিমাণ কমিয়া যায়।

এই যন্ত্রে উৎপন্ন বিভবের মান ফাঁপা গোলকের আকার, অন্তরক-স্তম্ভের উচ্চতা এবং পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। এই ধরনের যন্ত্র 10^6 ভোল্টের মত বিভব সৃষ্টি করিতে পারে। এই ধরনের যন্ত্র পারমাণবিক শক্তি গবেষণাগারে বিশেষভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

প্রশ্নাবলী

1. ইলেক্ট্রোফোরাসের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। দেখাও যে, এই যন্ত্রে শক্তির নিত্যতা সূত্র বিঘ্নিত হয় না।

[Describe and explain the principle of working of an electrophorous. Show that the principle of conservation of energy is not violated in the same.

2. ইলেকট্রোফোরাসের বর্ণনা দাও এবং উহা হইতে কিভাবে আধান পাওয়া যাইতে পারে তাহা ব্যাখ্যা কর। আসনের কার্য কি ?

[Describe an electrophorous and explain how you can obtain charge from it ? What is the function of the Sole ?]

3. আহিত ইলেকট্রোফোরাস হইতে অসংখ্যবার আধান সংগ্রহ করিলেও ইবোনাইট চাকতির আধান কমিয়া যায় না। ইহা কিরূপে সম্ভব তাহা ব্যাখ্যা কর।

[A charged electrophorous can supply an indefinitely large quantity of charge without the charge on the ebonite disc being diminished. Explain how it is possible,

4. ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটরের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। যন্ত্রটি কি কাজে লাগে ?

[Describe and explain the working of a Van-De-Graaff Generator. What are the uses of this machine ?]

প্রথম অধ্যায়

প্রবাহী তড়িৎ-বিজ্ঞান

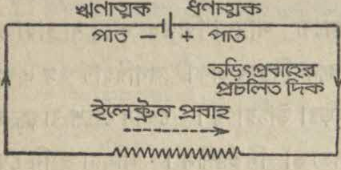
ভোল্টীয় কোষ (Voltaic cell)

1-1. সূচনা (Introduction) : আমরা বর্তমানে বিদ্যুতের যুগে বাস করি। বাড়ীতে এবং শিল্প প্রতিষ্ঠানে বিভিন্ন কাজ করিবার জন্য বিদ্যুৎশক্তি ব্যবহৃত হইয়া থাকে। বৈদ্যুতিক বাতির সুইচ টেপামাত্রই ঘরের অন্ধকার দূর হইয়া যায়। গরমের সময় পাখার সুইচটি টিপিয়া দিলেই ঝামেলা চুকিয়া যায়। চা প্রস্তুত করিবার জন্য গরম জলের প্রয়োজন। সে ক্ষেত্রে বৈদ্যুতিক হিটার বিশ্বস্ত ভৃত্যের মত আজ্ঞা বহন করিতে সর্বদাই প্রস্তুত আছে। তাছাড়া আমাদের সুখ-সুবিধা এবং চিত্তবিনোদনের জন্য রেডিও, টেলিফোন, রেফ্রিজারেটার প্রভৃতি ব্যবহৃত হইয়া থাকে। শিল্প-প্রতিষ্ঠানে ডায়নামো, মোটর এবং অন্যান্য বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি বিভিন্ন কাজের জন্য ব্যবহৃত হইয়া থাকে। বৈদ্যুতিক ট্রেন, ট্রাম ইত্যাদির সাহায্যে আমরা বিভিন্ন স্থানে যাতায়াত করিতে পারি। সুতরাং আমাদের দৈনন্দিন জীবনে বিদ্যুৎ একটি অপরিহার্য অঙ্গ এবং বিদ্যুৎ-শক্তিকে কেন্দ্র করিয়াই বর্তমান সভ্যতা গড়িয়া উঠিয়াছে। কোন দেশে ব্যবহৃত বৈদ্যুতিক শক্তির পরিমাণের উপর ঐ দেশের সভ্যতা নির্ভরশীল। আমরা জানি যে অন্যান্য প্রকার শক্তির মত বিদ্যুৎও একপ্রকার শক্তি। কিন্তু বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যবহারের বিশেষ সুবিধা এই যে ইহাকে সহজে একস্থান হইতে অন্যস্থানে লইয়া যাওয়া এবং সুষ্ঠুভাবে বিভিন্ন কার্যের জন্য ব্যবহার করা সম্ভব। সেইজন্যই বৈদ্যুতিক শক্তি এত কদর লাভ করিয়াছে।

1-2. তড়িৎ-প্রবাহ (Electric current) : ইহার পূর্বে আমরা কেবলমাত্র স্থির বিদ্যুতের বিষয় আলোচনা করিয়াছি। কিন্তু বিভিন্ন বিভব-বিশিষ্ট দুইটি আহিত বস্তুকে পরিবাহী তারের সাহায্যে যুক্ত করিলে উচ্চ বিভব-সম্পন্ন বস্তুটি হইতে নিম্নবিভব সম্পন্ন অপরটিতে আধানের প্রবাহ ঘটিতে দেখা যাইবে। যতক্ষণ পর্যন্ত বস্তু দুইটির বিভব একই না হইয়া যায় ততক্ষণ পর্যন্ত এই প্রবাহ ঘটিবে। আধানের এই প্রবাহকে **তড়িৎ-প্রবাহ** বলা হইয়া থাকে। কিন্তু এক্ষেত্রে বস্তু দুইটি খুব অল্প সময়ের মধ্যে একই বিভব-সম্পন্ন হইয়া যায়। ফলে তড়িৎপ্রবাহ খুব ক্ষণস্থায়ী হয়। কিন্তু যদি কোন উপায়ে (তড়িৎ কোষ বা ডায়নামোর সাহায্যে) পরিবাহী বস্তু দুইটির মধ্যে একটি নির্দিষ্ট বিভব

বৈষম্য রাখা সম্ভব হয় তবে অবিচ্ছিন্নভাবে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলিতে থাকিবে। কোন পরিবাহী বস্তর ভিতর দিয়া t সময়ে Q পরিমাণ আধান প্রবাহিত হইলে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা $i=Q/t$ হইবে। স্থতরাং সময়ের সহিত আধান প্রবাহের হার তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা স্থচিত করে। উপরোক্ত রাশিটিতে $Q=1$, $t=1$ হইলে $i=1$ হইবে। 1 অ্যামপীয়ারকে তড়িৎ-প্রবাহের ব্যবহারিক একক হিসাবে ধরা হয়। 1 সেকেণ্ড সময়ে 1 কুলম্ব আধান প্রবাহিত হইলে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা 1 অ্যামপীয়ার হইবে। তড়িৎ-প্রবাহ যদি সব সময়ে একই দিকে প্রবাহিত হয় তবে উক্ত তড়িৎপ্রবাহকে **সমপ্রবাহ** (Direct current বা D. C.) বলা হয়। কিন্তু তড়িৎ প্রবাহের দিক সময়ের সহিত পরিবর্তিত হইলে উহাকে **পরিবর্তী প্রবাহ** (Alternating current বা A. C.) বলা হইয়া থাকে।

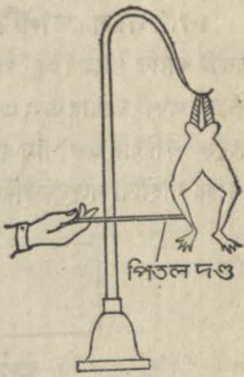
1-3. তড়িৎ-প্রবাহের দিক নির্দেশ (Direction of electric current) : বর্তমান মত অনুসারে তড়িৎ প্রবাহের সময় নিম্ন বিভব-সম্পন্ন বস্ত হইতে উচ্চ বিভব-সম্পন্ন বস্তুতে ইলেক্ট্রনের প্রবাহ ঘটিয়া থাকে। কিন্তু এই তত্ত্ব আবিষ্কৃত হইবার পূর্বে বৈজ্ঞানিকেরা বিশ্বাস করিতেন, যে-কোন বর্তনীতে উচ্চ বিভব-সম্পন্ন বস্ত হইতে নিম্ন বিভব-সম্পন্ন বস্তুতে আধানের প্রবাহ ঘটিয়া থাকে। স্থতরাং প্রচলিত রীতি অনুসারে ধরিয়া লওয়া হয় যে ধনাত্মক পাত হইতে বর্তনীর ভিতর দিয়া ঋণাত্মক পাতের অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিয়া থাকে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে ইলেক্ট্রনের প্রবাহ ঋণাত্মক পাত হইতে বর্তনীর ভিতর দিয়া ধনাত্মক পাতের অভিমুখে ঘটিয়া থাকে (চিত্র—1ক)। যাহাই হউক আমরা এই পুস্তকে তড়িৎপ্রবাহের দিক নির্দেশ হিসাবে প্রচলিত নিয়ম মানিয়া চলিব।



চিত্র—1 ক

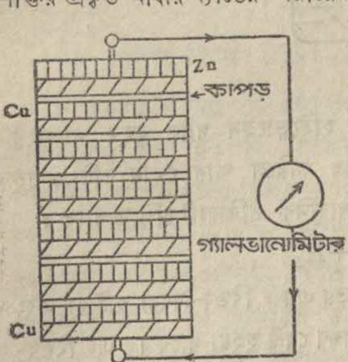
1-4. বিদ্যুৎ-প্রবাহের উৎস (Sources of electric current) : কোন দুইটি বিন্দুর মধ্যে নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্য রাখিতে পারিলে স্থায়ীভাবে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘটান সম্ভবপর হয়। যান্ত্রিক শক্তি, তাপশক্তি, আলোকশক্তি, রাসায়নিক শক্তি ইত্যাদির সাহায্যে উহা করা যাইতে পারে। কিন্তু পরীক্ষাগারে সাধারণতঃ রাসায়নিক শক্তির সাহায্যে বৈদ্যুতিক শক্তি উৎপন্ন করা হয়। কি পদ্ধতিতে উহা করা সম্ভবপর তাহা ঘটনাক্রমে গ্যালভানী প্রত্যক্ষ করেন।

1-5. গ্যালভানীর পরীক্ষা (Galvani's experiment) : 1786 খ্রীষ্টাব্দে শারীর-বিদ্যার অধ্যাপক গ্যালভানী কতকগুলি কাটা ব্যাঙ্ লইয়া গবেষণা করিতেছিলেন। এই কারণে তিনি একটি সদ্য ছাল ছাড়ানো ব্যাঙ্‌কে লোহার দণ্ড হইতে ঝুলাইয়া রাখেন (চিত্র—1খ)। পরীক্ষার সাহায্যে তিনি দেখিতে পান যে, লৌহ-দণ্ডের সহিত একটি পিতলের দণ্ডের ভিতর দিয়া ব্যাঙ্‌টির সংযোগ স্থাপিত হইলে ব্যাঙ্‌টি সঙ্কুচিত হইয়া যাইতেছে। এই ধরনের সংকোচন শরীরের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ-প্রবাহের ফলেই সম্ভব। সুতরাং গ্যালভানী সিদ্ধান্ত করিলেন যে, ব্যাঙের শরীরে সর্বদা বিদ্যুৎ বিদ্যমান আছে, যাহা উপযুক্ত অবস্থায় লৌহ এবং পিতলের দণ্ডের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইতেছে। কালক্রমে ভোল্টা প্রমাণ করিলেন যে এই মতবাদ সত্য নহে।



চিত্র—1 খ

1-6. ভোল্টীয় স্তূপ (Volta's pile) : ভোল্টার মত অনুসারে বৈদ্যুতিক শক্তির প্রকৃত আধার ব্যাঙের শরীরের পরিবর্তে দুইটি বিভিন্ন ধাতুর সংযোগ স্থলে বিদ্যমান থাকে ; এই ক্ষেত্রে ব্যাঙের শরীর একটি পরিবাহী বস্তু হিসাবে কাজ করে মাত্র।

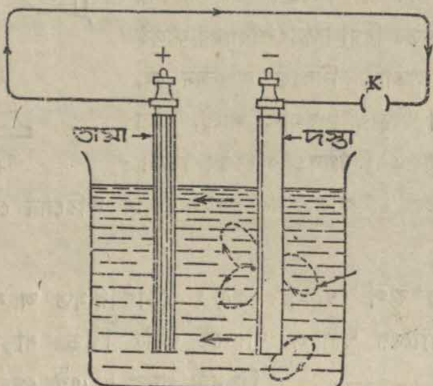


চিত্র—1 গ

এই মতবাদটিকে প্রমাণ করিবার জন্য তিনি ভোল্টীয় স্তূপ তৈয়ারী করেন। এই স্তূপে কতকগুলি তামা ও দস্তার পাত পর পর সাজানো থাকে এবং প্রতি জোড়া দস্তা ও তামার পাতের মধ্যে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে ভিজানো একটুকরা পাতলা কাপড় রাখা হয়। পরিবাহী তারের সাহায্যে উপরের দস্তার পাতের সহিত নীচের তামার পাতটিকে যুক্ত করিলে দেখা যাইবে যে উহার ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিতেছে। বর্তনীতে একটি গ্যালভানোমিটার রাখিলে, তড়িৎপ্রবাহের ফলে কাঁটাটির বিক্ষেপ ঘটিবে। এই পরীক্ষার সাহায্যে ভোল্টার মতবাদের সত্যতা প্রমাণিত হয়। পরে আমরা

দেখিতে পাইব যে, দস্তা ও সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে রাসায়নিক ক্রিয়া তড়িৎ-শক্তির প্রকৃত উৎস হিসাবে কাজ করে।

1-7. সরল ভোল্টীয় কোষ (Simple Voltaic Cell) : এই ধরনের কোষে একটি কাচের পাত্রে কিছু পরিমাণ লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড রাখা হয় এবং উহার ভিতরে একটি তামার এবং একটি দস্তার পাত ডুবানো থাকে (চিত্র—1ঘ)। তারের সহিত সংযুক্ত করিবার জন্য পাত দুইটির মাথায় উপযুক্ত স্ক্রু লাগানো থাকে। পাত দুইটিকে তারের সাহায্যে সংযুক্ত করিলে কোষটির ভিতর রাসায়নিক বিক্রিয়া চলিতে থাকিবে।



চিত্র—1 ঘ

ইহার ফলে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে এবং হাইড্রোজেন গ্যাস বুদ্বুদ আকারে বাহির হইয়া আসিবে। তারের সংযোগ বিচ্ছিন্ন করিলে আর কোন তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে না। তড়িৎপ্রবাহের কালে নিম্নলিখিত রাসায়নিক প্রক্রিয়াটি চলিতে থাকে :

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$$

রাসায়নিক পরিবর্তনের ফলে পাত দুইটির ভিতর একটি বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হয় এবং তামার পাতটির বিভব দস্তার পাতের বিভব অপেক্ষা বেশী হইয়া থাকে। এই বিভব-বৈষম্যের জন্যই বর্তনীটির ভিতর দিয়া বিদ্যুৎপ্রবাহ ঘটিয়া থাকে। সুতরাং, এই ক্ষেত্রে রাসায়নিক শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয় মাত্র।

ক্রিয়া (Action) : সালফিউরিক অ্যাসিডের সহিত জল মেশানো হইলে অ্যাসিডের অণুগুলি নিম্নলিখিত ভাবে আয়নিত (ionised) হইয়া যায় :

$$H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + (SO_4)^{--}$$

দস্তার পাতের ধনাত্মক আয়নগুলি ঋণাত্মক (SO_4) আয়নের সহিত যুক্ত হইয়া নিস্তড়িৎ (Neutral) $ZnSO_4$ অণু সৃষ্টি করে।

$$Zn^{++} + SO_4^{--} = ZnSO_4$$

ইহার ফলে দস্তার পাত হইতে ধনাত্মক দস্তার আয়ন চলিয়া যায় এবং দস্তার পাতটি ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়ে।

উপরে বর্ণিত ধনাত্মক হাইড্রোজেন অণুগুলি অ্যাসিডের ভিতর দিয়া তামার পাত অভিমুখে সঞ্চালিত হয়। পরে তামার পাতকে উহাদের ধনাত্মক আধান হস্তান্তরিত করিয়া হাইড্রোজেন অণুগুলি নিস্তড়িৎ হাইড্রোজেন অণুতে পরিণত হয় এবং বুদ্‌বুদ্‌ আকারে বাহির হইয়া আসে। হাইড্রোজেন অণু হইতে ধনাত্মক আধান পাওয়ার ফলে তামার পাতটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হইয়া যায়।

1·8. সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটি (Defects of a simple Voltaic cell) :

একটি সরল কোল্টীয় কোষে সাধারণতঃ দুইটি ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়, যথা—(i) **স্থানীয় ক্রিয়া** (Local action) এবং (ii) **ছদন** (Polarisation)। এই ত্রুটি দুইটির জন্য তড়িৎপ্রবাহ আস্তে আস্তে কমিতে থাকে এবং অবশেষে সম্পূর্ণ রূপে বন্ধ হইয়া যায়।

(i) **স্থানীয় ক্রিয়া** (Local action) :

সাধারণতঃ বাজারে যে দস্তা পাওয়া যায় তাহাতে খাদ হিসাবে কার্বন, লোহা, আর্সেনিক, সীসা ইত্যাদি বিদ্যমান থাকে। এই ধরনের কোন দস্তার পাতকে সালফিউরিক অ্যাসিডের ভিতর ডুবাইয়া রাখিলে খাদের অণুগুলি দস্তা এবং অ্যাসিডের সংযোগে ছোট ছোট স্থানীয় কোষের সৃষ্টি করে। স্থানীয় কোষগুলির উৎপন্ন তড়িৎ-প্রবাহ মূল বর্তনীতে প্রবাহিত হইতে পারে না। কিন্তু ইহার ফলে দস্তা এবং অ্যাসিড ক্ষয় হইয়া যায়। মূল বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ না ঘটিলেও এই প্রক্রিয়া সর্বদাই চলিতে থাকিবে। ইহাকে স্থানীয় ক্রিয়া বলা হয়।

স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ করিতে হইলে বাজারের সাধারণ দস্তার উপর একটি পারদের প্রলেপ লাগানো হয়। ইহার বিশেষত্ব এই যে দস্তার অণুগুলি পারদে দ্রবীভূত হইয়া উপরেই থাকে এবং অ্যাসিডের সংস্পর্শে আসিতে পারে। কিন্তু খাদের অণুগুলি পারদে দ্রবীভূত না হওয়ার ফলে অ্যাসিডের সংস্পর্শে আসিতে পারে না এবং স্থানীয় ক্রিয়া

সম্পূর্ণরূপে বন্ধ হইয়া যায়। এইরূপ ব্যবস্থা অবলম্বন করিলে তড়িৎপ্রবাহের সময় কেবলমাত্র দস্তার অণুগুলিই ক্ষয় প্রাপ্ত হইবে।

স্থানীয় ক্রিয়া প্রতিকারের জন্য বাজারের সাধারণ দস্তার পরিবর্তে বিশুদ্ধ দস্তা ব্যবহার করা যাইতে পারে। কিন্তু ইহার অসুবিধা এই যে, প্রথমতঃ ইহার দাম খুব বেশী এবং দ্বিতীয়তঃ সম্পূর্ণরূপে বিশুদ্ধ দস্তার পাত অ্যাসিডের সহিত বিশেষ কোন ক্রিয়া করে না।

(ii) **ছদন** (Polarisation) : আমরা দেখিয়াছি যে, তড়িৎপ্রবাহের সময় ধনাত্মক হাইড্রোজেন আয়নগুলি অ্যাসিডের ভিতর দিয়া ধাবিত হইয়া তামার পাতে ধনাত্মক আধান হস্তান্তরিক করে এবং হাইড্রোজেন অণু হিসাবে বুদ্‌বুদ্‌ আকারে বাহির হইয়া যায়। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, এইরূপ উৎপন্ন হাইড্রোজেন অণুগুলি একই সঙ্গে বাহির হইয়া যাইতে পারে না। ফলে কিছু পরিমাণ নিস্তড়িৎ হাইড্রোজেন অণু তামার পাতটির উপর একটি সরু স্তর হিসাবে জমিয়া যায়। নবাগত হাইড্রোজেন আয়নগুলিকে তামার পাতে পৌছিতে হইলে হাইড্রোজেনের এই স্তর ভেদ করিয়া আসিতে হইবে। ইহার ফলে তামার পাতে যে পরিমাণ হাইড্রোজেন আয়ন পৌছিবে তাহার পরিমাণ কমিয়া যাইবে। সুতরাং তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণও কমিয়া যাইবে। তাছাড়া যে সমস্ত হাইড্রোজেন আয়নগুলি তামার পাতে পৌছিতে পারিবে না সেইগুলি পূর্বেকার নিস্তড়িৎ হাইড্রোজেন স্তরের উপর আর একটি স্তরের সৃষ্টি করিবে। এই স্তরটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হওয়ার জন্য নবাগত অপরাপর ধনাত্মক হাইড্রোজেন আয়নগুলি বিকর্ষণের জন্য আরো বাধা প্রাপ্ত হইবে। ইহার ফলে যে সমস্ত হাইড্রোজেন আয়ন তামার পাতে পৌছাইবে তাহার পরিমাণ আরও কমিয়া যাইবে। অবশেষে এমন এক অবস্থা আসিবে যখন আর কোন আয়ন পৌছাইতে পারিবে না। এই অবস্থায় তড়িৎপ্রবাহ সম্পূর্ণরূপে বন্ধ হইয়া যাইবে। তামার পাতের উপর সঞ্চিত ধনাত্মক হাইড্রোজেন আয়নের স্তরের জন্য কোষের বিপরীত দিকে যে তড়িৎচালক বল সৃষ্ট হয় তাহাকে **বিপরীত তড়িৎচালক বল** (back E. M. F.) বলা হইয়া থাকে। সম্পূর্ণ ছদনগ্রস্ত অবস্থায় কোষের তড়িৎচালক বল বিপরীত তড়িৎচালক বলের সমান হইবে।

প্রতিকারের উপায় : নিম্নলিখিত পদ্ধতিগুলি দ্বারা ছদন নিবারণ করা যাইতে পারে।

(a) **যান্ত্রিক পদ্ধতি** (Mechanical method) : তামার পাতের উপর

হাইড্রোজেনের স্তর জমিয়া উঠিলে পাতটিকে বাহির করিয়া ব্রাস দিয়া পরিষ্কার করা হয়। পাতটিকে পুনরায় কোষে স্থাপন করিলে তড়িৎপ্রবাহ চলিতে থাকিবে। ছদন নিবারণের এই পদ্ধতিকে যান্ত্রিক পদ্ধতি বলা হয়।

কিন্তু এই ধরনের পদ্ধতি বিশেষ কার্যকর নহে, কারণ হাইড্রোজেনের স্তর পুনরায় জমিয়া উঠিলে তামার পাতটিকে আবার পরিষ্কার করার প্রয়োজন হইয়া উঠে।

(b) **রাসায়নিক পদ্ধতি** (Chemical method) : এই পদ্ধতিতে কোষের ভিতর একটি বিশেষ ধরনের রাসায়নিক বস্তু ব্যবহৃত হয়, যাহা হাইড্রোজেনের সহিত রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে জল উৎপন্ন করে। আমরা দেখিয়াছি যে, ছদনের জন্য মূলতঃ হাইড্রোজেন দায়ী, কিন্তু সে হাইড্রোজেন জলে রূপান্তরিত হওয়ার জন্য ছদনও নিবারিত হয়। উপরোক্ত দ্রব্যগুলি ছদন নিবারক বস্তু বলিয়া অভিহিত হয়। লেকল্যান্স কোষে MnO_2 ছদন নিবারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

(c) **তড়িৎ রাসায়নিক পদ্ধতি** (Electro-chemical method) : এই পদ্ধতিতে দুইটি তরল ব্যবহৃত হয়—যাহার ফলে হাইড্রোজেন অণুগুলি দ্বিতীয় তরলটির সহিত রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে ধনাত্মক পাতটি যে ধাতুর তৈয়ারী সেই ধাতুর অণু সৃষ্টি করে অথবা অপর একটি নিরুপদ্রব গ্যাস উৎপন্ন করে। ড্যানিয়েল কোষে ছদন নিবারণের জন্য এই পদ্ধতি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

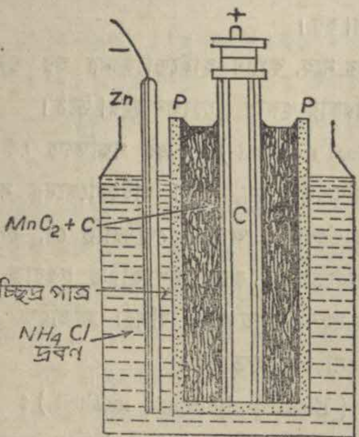
1-9. বিভিন্ন ধরনের কোষ (Different types of cells) : বৈদ্যুতিক কোষে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই সমস্ত কোষে একটি উপযুক্ত সক্রিয় তরল থাকে ; ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু থাকে এবং ছদন নিবারণের ব্যবস্থা থাকে। এই ধরনের কোষকে মৌল কোষ বলা হয়।

যে সমস্ত মৌল কোষে একটি মাত্র তরল ব্যবহৃত হয় তাহাদিগকে **এক তরল** (single fluid) কোষ বলা হয়। **দুই তরল** (double fluid) কোষে দুইটি তরল থাকে। নিম্নে কয়েকটি প্রয়োজনীয় কোষের বিষয় আলোচিত হইয়াছে।

1-10. লেক্‌ল্যান্স কোষ (Leclanche cell) :

ইহা একটি এক তরল কোষ। এই কোষে একটি কাচের পাত্রে ঘন অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড (NH_4Cl) দ্রবণ রাখা হয় এবং উহার মধ্যে পারদের প্রলেপযুক্ত দস্তার দণ্ড (Zn) আংশিক ভাবে ডুবানো থাকে। কাচের পাত্রটির ভিতরে একটি সচ্ছিদ্র পোর্সিলেন পাত্র (P) আছে। এই পাত্রটির মাঝখানে গ্যাসকার্বন দণ্ড C থাকে। সচ্ছিদ্র পাত্রটির অবশিষ্টাংশ ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইড (MnO_2) ও কাঠ কয়লার

গুঁড়া দিয়া ভর্তি করা হয়। পাত্রের মুখটি পিচ্ বা আলকাত্রা দিয়া বন্ধ করিয়া গ্যাস বাহির হইবার জন্য একটি ছোট ছিদ্র রাখা হয় (চিত্র 1ঙ)।



চিত্র—1ঙ

এইক্ষেত্রে দস্তা দণ্ডটি ঋণাত্মক দ্বার ; কার্বন দণ্ডটি ধনাত্মক দ্বার এবং ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইড্ ছদন নিবারক হিসাবে কাজ করে। তাছাড়া তড়িৎ দ্রব্য হিসাবে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড্ ব্যবহৃত হইয়াছে।

কার্যপ্রণালী :

দস্তার সহিত অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড্ নিম্নলিখিত ভাবে রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত করে।

$$Zn^{++}+2NH_4Cl=ZnCl_2+2NH_3+2H^+$$

এইভাবে মুক্ত হাইড্রোজেন আয়নগুলি সচ্ছিদ্র পাত্রটির ভিতর দিয়া কার্বন দণ্ডটির অভিমুখে ধাবিত হয়। সেখানে পৌছিয়া কার্বন দণ্ডটিকে ধনাত্মক আধান প্রদান করে এবং নিস্তড়িৎ হাইড্রোজেন পরমাণুতে রূপান্তরিত হয়। এই পরমাণুগুলির সহিত ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইডের রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে Mn_2O_3 ও জল উৎপন্ন হয়।

$$2H+2MnO_2=Mn_2O_3+H_2O.$$

ইহার ফলে কার্বনদণ্ডে কোন হাইড্রোজেন গ্যাস জমিতে পারে না। ফলে ছদনক্রিয়াও বন্ধ থাকে। দস্তার দণ্ডে পারদের প্রলেপ দেওয়ার ফলে স্থানীয় ক্রিয়াও সংঘটিত হইতে পারে না। এখানে লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে সচ্ছিদ্র পাত্রে অবস্থিত কাঠকয়লার গুঁড়া সোজাসুজি কোন কাজেই লাগিতেছে না ; কিন্তু ইহা বর্তমান থাকার জন্য কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ কমিয়া যায়। লেক্ল্যান্স কোষের তড়িচ্চালক বল প্রায় 1·5 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধের পরিমাণ এক ওহ্মের কম।

এইক্ষেত্রে ছদন নিবারক বস্তুটি কঠিন হওয়ায় হাইড্রোজেনের সহিত উহার রাসায়নিক ক্রিয়া খুব আস্তে আস্তে হইয়া থাকে। এইজন্য সমস্ত হাইড্রোজেন পরমাণুগুলি এককালে জলে পরিণত হয় না, ফলে ছদন ক্রিয়া শুরু হইয়া যায়। তড়িৎ-কোষটি একটানা চলিবার পর তড়িৎ প্রবাহ কিছুক্ষণ বন্ধ রাখিলে উপরোক্ত হাইড্রোজেন

পরমাণুগুলি ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইডের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে জলে পরিণত হইবে এবং কোষটিকে পুনরায় ছদন-মুক্ত করিবে। এই কারণের জন্য যে সমস্ত ক্ষেত্রে একটানা তড়িৎপ্রবাহের প্রয়োজন সেই সমস্ত ক্ষেত্রে লেকল্যান্স কোষ ব্যবহৃত হয় না। অপরপক্ষে টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, বৈদ্যুতিক ঘণ্টা ইত্যাদিতে একটানা তড়িৎপ্রবাহের প্রয়োজন হয় না। সেইজন্য এই সমস্ত ক্ষেত্রে লেক্ল্যান্স কোষ বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়।

তড়িৎ প্রবাহের ফলে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড্ দ্রবণের ঘনত্ব কমিয়া যায় এবং দস্তার দণ্ডটি ক্ষয়প্রাপ্ত হয়। প্রয়োজন অনুসারে উহাদিগকে পাল্টাইয়া দিলে কোষটি আবার নূতনের মত কাজ করে।

1-11. নির্জল কোষ (Dry cell) : ইহা এক প্রকারের লেকল্যান্স কোষ এবং ইহাতে একটি দস্তার চোঙ এবং একটি কার্বন দণ্ড আছে (চিত্র 1চ)। দস্তার চোঙ্টি ঋণাত্মক ও কার্বন দণ্ডটি ধনাত্মক তড়িৎ দ্বার হিসাবে কাজ করে। এক টুকরা টার কাগজ উহাদের মধ্যে অন্তরক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। এই ধরনের কোষে তরলের পরিবর্তে একটি বিশেষ ধরনের লেই (paste) ব্যবহৃত হয়। NH_4Cl দ্রবণ, MnO_2, কার্বন বা গ্রাফাইট এবং কিছু জল দিয়া এই লেই প্রস্তুত করা হয়। দস্তার চোঙ এবং কার্বন দণ্ডের মধ্যবর্তী স্থানটি এই লেই দ্বারা পূর্ণ করা হয়। কোষের উপরিভাগ যথাক্রমে করাতের গুঁড়া, বালি ও পীচ্ দ্বারা বন্ধ থাকে। যাহাতে ভিতরের অ্যামোনিয়া গ্যাস বাহির হইয়া যাইতে পারে, সেইজন্য পীচের আস্তরণে একটি সরু ছিদ্র রাখা হয়।



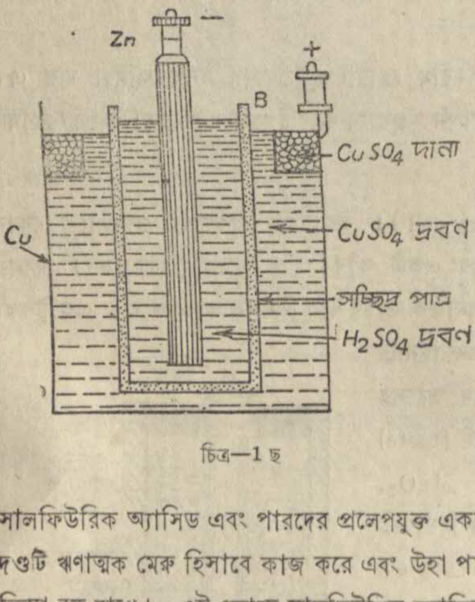
চিত্র—1 চ

অবশেষে কোষটিকে কাগজের মোড়কে ভরিয়া বিক্রয়ের জন্য বাজারে প্রেরণ করা হয়। ইহার তড়িচ্চালক বল প্রায় 1·5 ভোল্ট এবং রাসায়নিক প্রক্রিয়া লেক্ল্যান্স কোষের অনুরূপ।

লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে ইহাকে নির্জল কোষ বলা উচিত নহে। কারণ লেই-এর মধ্যে জল না থাকিলে কোষটি কাজ করিত না।

এই ধরনের কোষ টর্চলাইট, টেলিফোন, বৈদ্যুতিক ঘণ্টা, ট্রানজিস্টর রেডিও ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়।

1-12. ড্যানিয়েল কোষ (Daniell cell) : ইহা একটি দুইতরল বিশিষ্ট কোষ। একটি তামার পাত্রে সম্পৃক্ত কপার সালফেট দ্রবণ রাখা হয়। তামার পাত্রটি ধনাত্মক পাত এবং কপার সালফেট দ্রবণ ছদন নিবারক হিসাবে কাজ করে। পাত্রটির উপরের দিকে অবস্থিত সচ্ছিদ্র তামার তাকের ভিতর কপার সালফেট দানা রাখা হয়। এই দানাগুলি $CuSO_4$ দ্রবণের সংস্পর্শে থাকার জন্য দ্রবণটি সর্বদাই সম্পৃক্ত থাকিবে। দ্রবণের ভিতরে পোর্সিলেনের সচ্ছিদ্র পাত্র B আছে। এই পাত্রটির ভিতরে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড এবং পারদের প্রলেপযুক্ত একটি দস্তার দণ্ড রাখা হয়। দস্তার দণ্ডটি ঋণাত্মক মেরু হিসাবে কাজ করে এবং উহা পারদের প্রলেপযুক্ত বলিয়া স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ রাখে। এই কোষে সালফিউরিক অ্যাসিড সক্রিয় তরল হিসাবে ব্যবহৃত হয় (চিত্র 1ছ)।



চিত্র—1 ছ

কার্যপ্রণালী : সালফিউরিক অ্যাসিডের সহিত দস্তার রাসায়নিক ক্রিয়ার জন্য ধনাত্মক হাইড্রোজেন আয়ন উৎপন্ন হয়। ফলে দস্তার দণ্ডটির ধনাত্মক আধান কমিয়া যায় এবং ইহা ঋণাত্মক মেরুতে পরিণত হয়।

$$Zn^{++} + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2H^+$$

হাইড্রোজেন আয়নগুলি সচ্ছিদ্র পাত্রের মধ্য দিয়া বাহিরে আসে এবং কপার সালফেট দ্রবণের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া করিয়া সালফিউরিক অ্যাসিড ও তামার আয়ন উৎপন্ন করে।

$$2H^+ + CuSO_4 = Cu^{++} + H_2SO_4$$

তামার আয়নগুলি দ্রবণের ভিতর দিয়া তামার পাত্রের দিকে ধাবিত হয়। সেখানে

পৌছিয়া আয়নগুলি নিজেদের ধনাত্মক আধান তামার পাত্রকে প্রদান করে এবং নিস্তড়িৎ তামার অণু হিসাবে পাত্রটির গায়ে সঞ্চিত হয়। এই পদ্ধতি দ্বারা ছদনক্রিয়া সম্পূর্ণরূপে বন্ধ থাকে। কারণ আর কোন হাইড্রোজেন গ্যাস বর্তমান থাকে না। ছদন নিবারণের এই পদ্ধতিকে তড়িৎরাসায়নিক পদ্ধতি বলা হয়।

অব্যবহৃত অবস্থায় কোষটির বিভিন্ন অংশকে পৃথক করিয়া রাখা উচিত। তাহা না করিলে সচ্ছিদ্র পাত্রটির ভিতর দিয়া তরল দুইটি পরস্পরের সহিত মিশিয়া যাইবে এবং কোষটি ক্ষতিগ্রস্ত হইবে।

ড্যানিয়েল কোষের তড়িচ্চালক বল 1·08 ভোল্ট এবং ইহা মোটামুটি স্থির থাকে। স্থির তড়িচ্চালক বলের আধার হিসাবে ইহা সাধারণভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

1-13. সঞ্চয়ক কোষ (Storage cell): ইহার বিষয় চতুর্থ অধ্যায়ে আলোচিত হইয়াছে।

1-14. কোষের তড়িৎ চালক বলের পরিমাণ (Magnitude of E. M.F. of a cell): কোন কোষের তড়িৎচালক বলের পরিমাণ কোষের পাত দুইটি এবং সক্রিয় তরলের উপর নির্ভরশীল। কোষটির আকারের তারতম্য ঘটিলেও তড়িৎচালক বল অপরিবর্তিত থাকিবে। কিন্তু পাত দুইটির আকার বড় হইলে কোষটির আভ্যন্তরীণ রোধ কমিয়া যাইবে, ফলে নির্দিষ্ট অবস্থায় তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বাড়িয়া যাইবে। কোষের উপাদানের পরিমাণ বেশী হইলে কোষটি বেশী পরিমাণ তড়িৎ সরবরাহ করিতে পারিবে অর্থাৎ কোষটির শক্তি (capacity) বাড়িয়া যাইবে।

1-15. তড়িৎ প্রবাহের ফল (Effects of electric current): কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে নিম্নলিখিত তিনটি ফল পরিলক্ষিত হইতে পারে।

(a) **তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফল** (Heating effect of electric current): কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘটিলে উহা উত্তপ্ত হইয়া যায়। ইহাকে তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফল বলা হয়। শিল্পে এবং আমাদের দৈনন্দিন জীবনে ইহার প্রচুর ব্যবহার আছে। বৈদ্যুতিক বাতি হইতে যে আলো পাওয়া যায় তাহা তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগ ছাড়া আর কিছুই নহে। ইহার বিষয় তৃতীয় অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচিত হইয়াছে।

(b) **তড়িৎ প্রবাহের রাসায়নিক ফল** (Chemical effect of electric current): ঈষৎ অম্ল বা ক্ষারযুক্ত দ্রাবক (solute) পদার্থের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে পদার্থটির অণুগুলি বিশ্লিষ্ট হইয়া যায়। ইহাকে তড়িৎ প্রবাহের

রাসায়নিক ক্রিয়া বলা হয়। ইহার সাহায্যে বিশুদ্ধ ধাতু নিষ্কাশন, 'ইলেক্টোপ্লেটিং' (Electroplating) ইত্যাদি সম্ভব। ইহার বিষয় চতুর্থ অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচিত হইয়াছে।

(c) **তড়িৎ প্রবাহের চুম্বকীয় ফল** (Magnetic effect of electric current): কোন পরিবাহী তারের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তাহার চারিপার্শ্বে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। ইহাকে তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল বলে। এই ফলের উপর নির্ভর করিয়াই তড়িৎচুম্বক, টেলিগ্রাফ, টেলিফোন ইত্যাদি কার্য করে। ইহার বিষয় পঞ্চম অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচিত হইয়াছে।

প্রশ্নাবলী

1. সরল ভোল্টীয় কোষের গঠন এবং কার্যনীতির বর্ণনা দাও। এই কোষের ত্রুটী কি কি এবং তাহাদের প্রতিকারের উপায় কি ? [Describe the principle and construction of a simple voltaic cell. What are the defects of this cell and how this can be removed ?]

2. লেকল্যান্স কোষের বর্ণনা দাও এবং তাহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। এই কোষের প্রধান ত্রুটীগুলি কিভাবে দূরীভূত করা হয় ? [Describe a Leclanche cell and explain its action. How are the main defects of the cell removed ?]

3. নির্জল কোষের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। নির্জলকোষ এবং লেকল্যান্স কোষের তুলনা কর ? [Describe a dry cell and explain its action. Distinguish between a dry cell and a Leclanche cell.]

4. ড্যানিয়েল কোষের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ড্যানিয়েল কোষে স্থানীয় ক্রিয়া এবং ছদন কিভাবে দূরীভূত করা হয় ? [Describe a Daniell cell and explain its action. Explain how the local action and polarisation are avoided in a Daniell cell.]

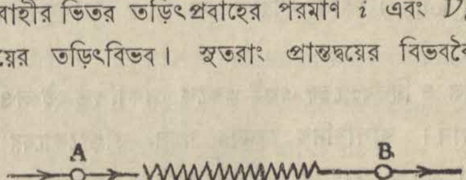
5. তড়িৎপ্রবাহের ফল কি কি তাহা আলোচনা কর। [Discuss the effects of electric current.]

দ্বিতীয় অধ্যায়
ওহ্‌মের সূত্র এবং রোধ

2-1. ওহ্‌মের সূত্র (Ohm's law) : 1826 খ্রীষ্টাব্দে জার্মান বৈজ্ঞানিক ডঃ জি. এস্. ওহ্‌ম পরিবাহীর ভিতর বিদ্যুৎপ্রবাহ এবং উহার প্রান্তদ্বয়ের বিভব-বৈষম্যের ভিতর সম্পর্কের একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্রকে **ওহ্‌মের সূত্র** বলা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ :

তাপমাত্রা এবং অন্যান্য ভৌতগুণ অপরিবর্তিত থাকিলে কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া যে পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে তাহা উহার প্রান্তদ্বয়ের বিভববৈষম্যের সমানুপাতিক।

ধর, AB পরিবাহীর ভিতর তড়িৎপ্রবাহের পরমাণ i এবং V_a, V_b যথাক্রমে A ও B প্রান্তদ্বয়ের তড়িৎবিভব। সুতরাং প্রান্তদ্বয়ের বিভববৈষম্য $= V_a - V_b$. (চিত্র 2ক)।



চিত্র—2 ক

ওহ্‌মের সূত্রানুযায়ী,

$$V_a - V_b \propto i$$

বা, $$V_a - V_b = Ri \qquad (R \text{ একটি ধ্রুবক})$$

ধ্রুবক R-কে পরিবাহীটির **রোধ** (resistance) বলা হয়।

সুতরাং, $i = \dfrac{V_a - V_b}{R}$ বা, তড়িৎপ্রবাহ $= \dfrac{\text{বিভববৈষম্য}}{\text{রোধ}}$।

2-2. একক (Units) : এই অধ্যায়ে তড়িৎপ্রবাহী, বিভব-বৈষম্য এবং রোধের বিষয় উল্লেখ করা হইয়াছে। এখন তাহাদের ব্যবহারিক (practical) একক সম্বন্ধে আলোচনা করা হইবে।

(a) **তড়িৎ** (Electricity) : তড়িতের ব্যবহারিক একক 1 **কুলম্ব** (Coulomb)। এক কুলম্ব তড়িৎ সিলভার নাইট্রেট (Silver nitrate) দ্রবণের ভিতর পাঠাইলে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে ঋণাত্মক পাতে (cathode) 0·001118 গ্রাম রূপা (silver) জমা হইবে।

(b) **তড়িৎ-প্রবাহ** (Electric current) : ইহার ব্যবহারিক একক 1 **অ্যাম্পীয়ার** (Ampere)। কোন পরিবাহীর ভিতর প্রতি সেকেণ্ডে 1 কুলম্ব তড়িৎ প্রবাহিত হইলে পরিবাহীটির ভিতর তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ 1 অ্যামপীয়ার হইবে। তড়িৎপ্রবাহ মাপিবার জন্য অ্যাম্মিটার যন্ত্র ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

1 অ্যামপীয়ার $= \frac{1}{10}$ তড়িচ্চুম্বকীয় একক (electro-magnetic unit).

(c) **বিভবপ্রভেদ ও তড়িচ্চালক বল** (Potential difference and electro-motive force) : উভয় রাশিরই ব্যবহারিক একক ভোল্ট (Volt)। কোন পরিবাহীর উচ্চ বিভববিন্দু হইতে নিম্ন বিভববিন্দুতে 1 কুলম্ব তড়িৎ পাঠাইতে হইলে যদি 1 জুল (joule) কাজ করিতে হয় তবে ঐ বিন্দু-দুইটির বিভবপ্রভেদকে 1 ভোল্ট বলা হয়।

তড়িৎচালক বল ও বিভবপ্রভেদ একই এককে প্রকাশিত হইলেও তাহাদের মধ্যে কিছু-পার্থক্য বিদ্যমান। রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তড়িৎকোষের দুইটি পাতে যে বিভববৈষম্য ঘটিয়া থাকে তাহাকে তড়িৎচালক বল বলা হয়। তড়িৎচালক বলের জন্যই তড়িৎকোষ কোন বর্তনীতে বিদ্যুৎপ্রবাহ ঘটাইতে পারে। তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবার সময় তড়িৎকোষের তরল কিছু পরিমাণ রোধ প্রদান করে। ইহাকে আভ্যন্তরীণ রোধ (Internal resistance) বলা হয়। আভ্যন্তরীণ রোধের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের জন্য তড়িৎকোষের পাত দুইটির বিভববৈষম্য কিছু পরিমাণে কমিয়া যায়। এই অবস্থায় পাত দুইটির মধ্যে যে বিভববৈষম্য থাকে তাহাকে কোষের বিভবপ্রভেদ নামে অভিহিত করা হয়। ইহার মান তড়িৎচালক বলের চেয়ে কম হইবে। আরোও একটি জিনিস লক্ষ্য করিতে হইবে যে তড়িৎচালক বলের জন্যই বিভবপ্রভেদ ঘটিয়া থাকে। সেইজন্য তড়িৎচালক বলকে কারণ (cause) এবং বিভবপ্রভেদকে ফল (effect) বলা হইয়া থাকে। কোষের তড়িৎচালক বল E, বিভববৈষম্য V, আভ্যন্তরীণ রোধ r এবং তড়িৎপ্রবাহ i হইলে $V = E - ir$ হইবে। যখন কোন তড়িৎপ্রবাহ ঘটে না তখন $i = 0$ হইবে। সেখানে $V = E$ অর্থাৎ বিভববৈষম্য = তড়িৎচালক বল।

বিভববৈষম্য মাপিবার জন্য ভোল্টমিটার যন্ত্র ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(d) **রোধ** (Resistance) : রোধের ব্যবহারিক একক **ওহ্ম** (Ohm)। কোন পরিবাহীতে এক ভোল্ট বিভববৈষম্যের জন্য যদি 1 অ্যামপীয়ার তড়িৎপ্রবাহ ঘটে তবে পরিবাহীর রোধ 1 ওহ্ম হইবে।

2-3. **আন্তর্জাতিক একক** (International unit) :

(a) আন্তর্জাতিক অ্যামপীয়ার (International Ampere) : যে তড়িৎপ্রবাহ সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে প্রবাহিত হইয়া রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে প্রতি সেকেণ্ডে 0·001118 গ্রাম রূপা ঋণাত্মক পাতে জমা করিতে পারে সেই তড়িৎপ্রবাহকে এক আন্তর্জাতিক অ্যামপীয়ার বলা হয়।

(*b*) **আন্তর্জাতিক ভোল্ট** (International Volt) : ওয়েস্টন ক্যাড্মিয়াম কোষের 20°C-এ যে তড়িৎচালক বল থাকে তাহার $\frac{1}{1·0183}$ অংশকে এক আন্তর্জাতিক ভোল্ট বলা হয়। আন্তর্জাতিক ভোল্ট ব্যবহারিক ভোল্টের চেয়ে সামান্য বড়।

(*c*) **আন্তর্জাতিক ওহ্ম** (International Ohm) : 0°C তাপমাত্রায় 106·3 সেন্টিমিটার উচ্চতা, 1 বর্গ মিমি. প্রস্থচ্ছেদ এবং 14·4521 গ্রাম ভরবিশিষ্ট পারদস্তম্ভ যে রোধ প্রদান করিবে তাহাকে এক আন্তর্জাতিক ওহ্ম বলা হয়। রোধের ব্যবহারিক একক ও আন্তর্জাতিক একক পরস্পর প্রায়ই সমান।

2-4. পরিবাহীর রোধ (Resistance of a conductor) : কোন পরিবাহীর রোধ উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ ও তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল। আবার এমন কতকগুলি পরিবাহী বস্তু আছে যাহাদের রোধ, আলোক এবং চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগের জন্যও পরিবর্তিত হইয়া যায়।

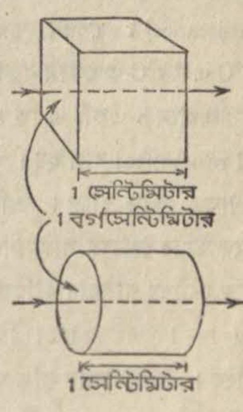
2-5. **রোধাঙ্ক** (Specific resistance) : l দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট এবং A প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট কোন পরিবাহী বস্তুর রোধ R হইলে এবং তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিলে,

$R \propto l$ যখন A ধ্রুবক

এবং $R \propto \frac{1}{A}$ যখন l ধ্রুবক

সুতরাং $R \propto \frac{l}{A}$ যখন A এবং l পরিবর্তিত হয়।

$\therefore \quad R = \rho \frac{l}{A}$ যেখানে ρ একটি ধ্রুবক।



চিত্র—2 খ

ধ্রুবকটির মান পরিবাহীর উপাদানের উপর নির্ভর করে এবং ইহাকে **রোধাঙ্ক** বলা হয়।

$l=1$ সেমি.

$A=1$ বর্গ সেমি. হইলে

$R=\rho$ হইবে।

অর্থাৎ 1 সেমি. লম্বা এবং 1 বর্গ সেমি. প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট পরিবাহী বস্তু যে পরিমাণ রোধ প্রদান করিবে তাহা পরিবাহী বস্তুটির রোধাঙ্কের সমান হইবে (চিত্র 2খ)।

রোধাঙ্কের একক ঃ আমরা জানি $\rho=\frac{RA}{l}$ কিন্তু রোধের একক ওহ্‌ম এবং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থচ্ছেদের একক যথাক্রমে সেমি. ও বর্গ সেমি.

$$\therefore \quad \rho=\frac{R\,(\text{ওহ্‌ম})\times A\,(\text{বর্গ সেমি.})}{l\,(\text{সেমি.})}=\frac{RA}{l}\ \text{ওহ্‌ম-সেমি.}$$

প্রযুক্তি বিদ্যায় (Engineering) রোধ বিষয়ের আলোচনার বিশেষ প্রয়োজনীয়তা আছে। রূপা তড়িৎপ্রবাহকে সর্বাপেক্ষা কম বাধা প্রদান করে। তাহার পরেই তামার স্থান।

মূল্যের দিক ও সুলভতার দিক বিবেচনা করিয়া বৈদ্যুতিক তার ইত্যাদি তৈয়ারি করিবার জন্য রূপার পরিবর্তে তামা ব্যবহৃত হয়। বর্তমানে অ্যালুমিনিয়াম ধাতুও বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হইতেছে।

2-6. রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব (Effect of temperature on resistance) ঃ কোন বস্তুর রোধের পরিমাণ উহার তাপমাত্রার উপরেও নির্ভরশীল। 0°C এবং t°C-এ কোন বস্তুর রোধ যথাক্রমে R_o এবং R_t হইলে $R_t=R_o(1+\alpha t)$

এখানে α একটি ধ্রুবক। ইহাকে রোধের **তাপাঙ্ক** (temperature co-efficient of resistance) বলা হয়। বস্তুর উপর নির্ভর করিয়া α-এর মান ধনাত্মক অথবা ঋণাত্মক হইতে পারে। পরিবাহী বস্তুটি বিশুদ্ধ ধাতু নির্মিত হইলে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে উহার রোধের পরিমাণও বাড়িয়া যাইবে। ধাতুসঙ্করের ক্ষেত্রেও তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে রোধের পরিমাণ বাড়িয়া যায়। কিন্তু এই ক্ষেত্রে রোধ বৃদ্ধির হার সাধারণতঃ খুব কম। এই কারণে বিভিন্ন ধাতুসঙ্কর অনেক বৈদ্যুতিক কাজে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। তাপমাত্রার বৃদ্ধি ঘটিলে কার্বন ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্য (electrolyte) তরলের রোধ কমিয়া যায়। অপরিবাহী বস্তুরও তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে রোধের মান কমিয়া যায়।

রোধাঙ্ক (ρ) এবং রোধের তাপাঙ্ক (α)

পদার্থ	ρ	α
অ্যালুমিনিয়াম	3.2×10^{-6}	$+0.0036$
অ্যান্টিমনি	45×10^{-6}	$+0.0041$
সীসা	21×10^{-6}	$+0.0042$
লোহা	$9-15\times10^{-6}$	$+0.0045$ to $+0.006$
তামা	1.7×10^{-6}	$+0.0040$
নিকেল	$8-11\times10^{-6}$	$+0.0037$ to $+0.006$
পারদ	95.8×10^{-6}	$+0.00092$
রূপা	1.6×10^{-6}	$+0.0040$
কার্বন	$5,000-10,000\times10^{-6}$	-0.0002 to -0.0008
পিতল	$7-9\times10^{-6}$	$+0.0015$
জার্মান সিলভার	$15-40\times10^{-6}$	$+0.00022$ to $+0.0007$
কনস্টেনট্যান	$49-52\times10^{-6}$	0
ম্যাঙ্গানিন	42×10^{-6}	0 to $+0.00003$

২-7. রোধের উপর আলোকের প্রভাব (Effecf of light on resistance) : সাধারণভাবে সেলিনিয়াম বিদ্যুতের কুপরিবাহী। কিন্তু সেলিনিয়ামের উপর আলোক ফেলিলে উহা সুপরিবাহী হইয়া যায়। চলচ্চিত্রে, স্বয়ংক্রিয়ভাবে রাস্তাকে আলোকিত করা ইত্যাদি কাজে সেলিনিয়ামের এই ধর্ম ব্যবহৃত হয়।

2-8. রোধের উপর চৌম্বকক্ষেত্রের ও চাপের প্রভাব (Effect of magnetic field and pressure on resistance) : বিস্মাথ ধাতুকে তীব্র চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে রাখিলে উহার রোধ বাড়িয়া যায়। কোন চৌম্বকক্ষেত্রের পরিমাণ মাপিবার জন্য এই ধর্মকে কাজে লাগান যাইতে পারে।

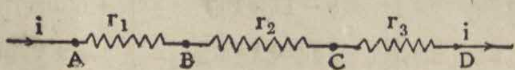
পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে কার্বন গুঁড়ার উপর চাপ পড়িলে উহার রোধের মান কমিয়া যায়। এই নীতির উপর নির্ভর করিয়াই কার্বন মাইক্রোফোন তৈয়ারী হইয়া থাকে।

2-9. রোধের সমবায় (Combination of resistances) : অনেক ক্ষেত্রে কোন তড়িৎ-বর্তনীতে একাধিক রোধ ব্যবহৃত হইয়া থাকে। তাহাকে **রোধের**

2

সমবায় বলে। রোধগুলি সমগ্রভাবে বর্তনীর উপর একটি প্রভাব বিস্তার করিবে। যদি সমন্বিত রোধগুলির পরিবর্তে এমন একটি রোধ ব্যবহার করা যায় যাহাতে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা এবং বিভব-প্রভেদ অপরিবর্তিত থাকে তবে উপরোক্ত রোধটিকে সমন্বিত **তুল্যাঙ্ক রোধ** (equivalent resistance) বলা হয়। রোধের সমবায় সাধারণতঃ দুই রকমের হইতে পারে। যথা :—(i) **শ্রেণীবদ্ধ সমবায়** (Series combination) এবং (ii) **সমান্তরাল সমবায়** (Parallel combination)।

(i) **শ্রেণীবদ্ধ সমবায়** (Series combination) : শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে সমস্ত রোধগুলির ভিতর দিয়া একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ ঘটিবে। ধর r_1, r_2, r_3 রোধ



চিত্র—2গ

তিনটি শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে আছে এবং তাহাদের ভিতরে তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ i (চিত্র 2গ)। ধর A, B, C, D বিন্দুতে বিভবের মান যথাক্রমে V_a, V_b, V_c এবং V_d.

$\therefore$ ওহমের স্থত্রানুযায়ী,
$$V_a - V_b = i.r_1$$
$$V_b - V_c = i.r_2$$
$$V_c - V_d = i\,r_3$$

যোগ করিয়া $V_a - V_d = i(r_1 + r_2 + r_3)$

যদি সমন্বিত রোধগুলির তুল্যাঙ্ক রোধের মান R হয় তবে উহাকে A ও D বিন্দুর মধ্যে বসাইলে তড়িৎ-প্রবাহ অপরিবর্তিত থাকিবে।

$$\therefore \quad V_a - V_d = i.R = i\ (r_1 + r_2 + r_3)$$

বা, $R = r_1 + r_2 + r_3$

n-সংখ্যক রোধ শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে থাকিলে, সেক্ষেত্রে তুল্যাঙ্ক রোধ

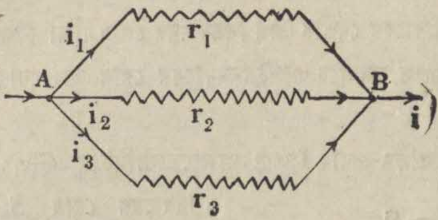
$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \cdots\cdots + r_n$$

স্থতরাং, শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ের ক্ষেত্রে তুল্যাঙ্ক রোধের মান সমন্বিত রোধগুলির যোগফলের সমান হইবে।

(ii) **সমান্তরাল সমবায়** (Parallel combination) : সমান্তরাল সমবায়ে বিভিন্ন রোধগুলির এক প্রান্ত কোন একটি বিন্দুতে এবং অপর প্রান্তগুলি আর একটি বিন্দুতে যুক্ত থাকে। এই ক্ষেত্রে বর্তনীর মূল তড়িৎপ্রবাহ সমন্বিত রোধগুলির মধ্যে বিভক্ত হইয়া পড়িবে। ধর r_1, r_2, r_3 রোধ তিনটি সমান্তরাল সমবায়ে আছে এবং

তাহাদের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ যথাক্রমে i_1, i_2 এবং i_3। বর্তনীর মূল তড়িৎপ্রবাহ i হইলে (চিত্র 2ঘ)

$$i_1+i_2+i_3=i.$$



চিত্র—2 ঘ

কিন্তু A ও B বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_a এবং V_b হইলে ওহ্‌ম স্থত্রানুযায়ী,

$$i_1=\frac{V_a-V_b}{r_1};\ i_2=\frac{V_a-V_b}{r_2} \text{ এবং } i_3=\frac{V_a-V_b}{r_3}$$

যোগ করিলে, $i_1+i_2+i_3=(V_a-V_b)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\right)=i$

$$[\because\ i_1+i_2+i_3=i]$$

উপরোক্ত সমবায়ের তুল্যাঙ্ক রোধের মান R হইলে,

$$i=\frac{V_a-V_b}{R}=(V_a-V_b)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\right)$$

বা, $\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}.$

n-সংখ্যক রোধ সমান্তরাল সমবায়ে থাকিলে,

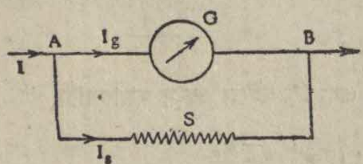
$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}+\cdots\cdots\cdots+\frac{1}{r_n} \text{ হইবে।}$$

কিন্তু $\frac{1}{R}$ রাশিটি রোধের পরিবাহিতা (conductance) স্থচিত করে। স্থতরাং সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে তুল্যাঙ্ক রোধের পরিবাহিতা সমন্বিত রোধগুলির পরিবাহিতার যোগফলের সমান হইবে।

2-10. সাণ্ট বা বিকল্প পথ (Shunt) : অনেক সময় কোন বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ মাপিবার জন্য স্থবেদী যন্ত্র গ্যালভেনোমিটার ইত্যাদি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

উহাদের ভিতরে তড়িৎ-প্রবাহের মান বেশী হইলে যন্ত্রগুলি বিকল এবং অকেজো হইয়া যাইতে পারে। মূল বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহের মান বেশী হইলেও সুবেদী যন্ত্রগুলির ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের মান যাহাতে বেশী না হয় সেই জন্য যন্ত্রগুলির সহিত সমান্তরাল সমবায়ে একটি নিম্ন মানের রোধ (low resistance) লাগানো হয়। ফলে মূল বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহের বেশীর ভাগ নিম্নমানের রোধ দিয়া চলিয়া যাইবে। কোন যন্ত্রের সহিত সমান্তরাল সমবায়ে একটি নিম্নমানের রোধ লাগানোর ব্যবস্থাকে **সাণ্ট** বা **বিকল্প পথ** বলে।

ধর মূলবর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ I এবং গ্যালভেনোমিটার G-এর সহিত সমান্তরাল সমবায়ের রোধ S লাগানো আছে (চিত্র 2৬)। গ্যালভেনোমিটারের তুলনায় সাণ্টের রোধ কম হওয়ায় মূলবর্তনীর বেশীর ভাগ তড়িৎপ্রবাহ S-পথে চলিয়া যাইবে এবং যন্ত্রটি বিকল হওয়ার হাত হইতে রক্ষা পাইবে।



চিত্র—2৬

গ্যালভেনোমিটারের রোধ $=G$; সাণ্টের রোধ $=S$; গ্যালভেনোমিটারে তড়িৎ-প্রবাহ $=I_g$ এবং সাণ্টে তড়িৎপ্রবাহ $=I_s$ হইলে,

$$I=I_g+I_s$$

এবং $V_A-V_B=I_g.G=I_s.S=(I-I_g)S \quad [\because\ I=I_g+I_s]$

বা, $I_g.G+I_g.S=I.S$

বা, $I_g=\dfrac{S}{G+S}I$

এবং $I_s=I-I_g=I-\dfrac{S}{G+S}\cdot I=\dfrac{G}{G+S}$

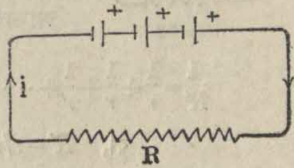
সুতরাং উপরোক্ত উপায়ে গ্যালভেনোমিটার এবং সাণ্টের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা নির্ণয় করা সম্ভব। উদাহরণস্বরূপ ধর, $G=99$ ওহ্‌ম, $S=1$ ওহ্‌ম এবং $I=100$ অ্যামপীয়ার।

$$\therefore\ I_g=\frac{S}{G+S}\ I=\frac{1}{99+1}\times 100=\frac{100}{100}=1 \text{ অ্যামপীয়ার}$$

সুতরাং মূলবর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ 100 অ্যামপীয়ার হইলেও গ্যালভেনোমিটারে তড়িৎপ্রবাহ মাত্র 1 অ্যামপীয়ার।

2-11. কোষের সমবায় (Grouping of cells) : উপযুক্তভাবে কোষের সমবায় করিয়া কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ বা বিভববৈষম্যের মান পরিবর্তন করা সম্ভব। একাধিক কোষের সমবায়কে ব্যাটারী (Battery) বলা হয়। কোষের সমবায় তিন প্রকারের হইতে পারে। যথা—(i) শ্রেণীবদ্ধ সমবায় (Series combination), (ii) সমান্তরাল সমবায় (Parallel combination), (iii) মিশ্র সমবায় (Mixed combination)।

(i) **শ্রেণীবদ্ধ সমবায় (Series combination) :** শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে যে-কোন কোষের ধনাত্মক মেরু পরবর্তী কোষের ঋণাত্মক মেরুর সঙ্গে যুক্ত থাকিবে। ধর, n সংখ্যক কোষ শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে আছে এবং একটি রোধ R-এর সহিত যুক্ত করা হইয়াছে (চিত্র 2চ)। প্রত্যেকটি কোষে তড়িৎচালক বল E হইলে, বর্তনীর মোট তড়িৎচালক বল nE হইবে। প্রত্যেকটি কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ $= r$ ধরা হইল। এই ক্ষেত্রে আভ্যন্তরীণ রোধগুলি পরস্পর শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে আছে।



চিত্র—2চ

$\therefore$ মোট আভ্যন্তরীণ রোধ $= r + r + r + \cdots\cdots n$ সংখ্যা পর্যন্ত $= nr$

অতএব, বর্তনীর মোট রোধ $= R + nr$

বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ i হইলে, ওহ্‌ম সূত্রানুযায়ী

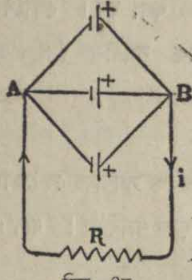
$$i = \frac{\text{মোট তড়িৎচালক বল}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{nE}{R + nr}.$$

(a) R-এর মান nr-এর তুলনায় খুব বেশী হইলে nr-কে R-এর তুলনায় অগ্রাহ্য করা যাইতে পারে। সেক্ষেত্রে $i = \frac{nE}{R}$ হইবে। কিন্তু একটিমাত্র কোষ থাকিলে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা $\frac{E}{R}$ হইত। সুতরাং, সমবায়ের ফলে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা n গুণ বাড়িয়া গেল।

(b) কিন্তু nr-এর মান R-এর মান অপেক্ষা খুব বেশী হইলে $i = \frac{E}{r}$ হইবে। অর্থাৎ তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা সমবায়ের ফলে বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হইবে না।

সুতরাং বহির্বর্তনীর রোধ (R) ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ (nr) অপেক্ষা খুব বেশী হইলে কোষের শ্রেণীবদ্ধ সমবায় দ্বারা বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধি করা সম্ভব।

(ii) **সমান্তরাল সমবায়** (Parallel combination) : সমান্তরাল সমবায়ে কোষগুলির ধনাত্মক পাতসমূহ একটি বিন্দুতে এবং ঋণাত্মক পাতগুলি অপর একটি বিন্দুতে যুক্ত থাকে (চিত্র 2ছ)। প্রত্যেকটি কোষে তড়িচ্চালক বল $=E$; আভ্যন্তরীণ রোধ $=r$ এবং বহির্বর্তনীর রোধ $=R$ ধরা হইল। এই সমবায়ে কোষের সংখ্যা n হইলেও বর্তনীর মোট তড়িচ্চালক বল E হইবে। তাছাড়া কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে থাকার জন্য উহাদের আভ্যন্তরীণ রোধগুলিও সমান্তরাল সমবায়ে আছে। আভ্যন্তরীণ রোধগুলির তুল্যাঙ্করোধ R' হইলে



চিত্র—2ছ

$$\frac{1}{R'}=\frac{1}{r}+\frac{1}{r}+\frac{1}{r}+\cdots\cdots n \text{ সংখ্যা পর্যন্ত } =\frac{n}{r}$$

বা, $R'=r/n$

অতএব, বর্তনীর মোট রোধ $=R+R'=R+r/n$

বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ i হইলে

$$i=\frac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}}=\frac{E}{R+r/n}=\frac{nE}{r+nR}.$$

(*a*) **বহির্বর্তনীর রোধ** (R) **:** মোট আভ্যন্তরীণ রোধ r/n অপেক্ষা খুব বেশী হইলে $i=E/R$ হইবে। সুতরাং এই ক্ষেত্রে সমবায়ের ফলে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হইবে না।

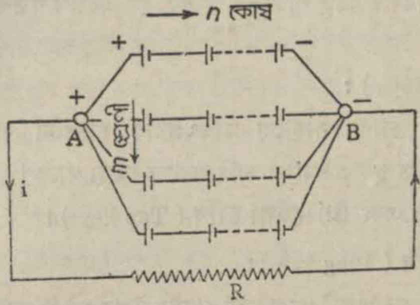
(*b*) যদি $\frac{r}{n}$-এর মান R-এর চেয়ে খুব বেশী হয় তবে $i=\frac{nE}{r}$ হইবে। এক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বাড়িয়া যাইবে।

সুতরাং কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের মান বেশী হইলে কোষগুলির সমান্তরাল সমবায় পদ্ধতি দ্বারা তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধি করা সম্ভব।

(iii) **মিশ্র সমবায়** (Mixed combination) :

এই ক্ষেত্রে কয়েকটি পংক্তিতে কতকগুলি করিয়া কোষ শ্রেণীবদ্ধ থাকে এবং পংক্তিগুলি সমান্তরাল সমবায়ে থাকে (চিত্র 2জ)। যদি প্রত্যেক পংক্তিতে 'n' সংখ্যক কোষ থাকে এবং 'm' = পংক্তির সংখ্যা হয়, তবে ঐ সমবায়ে মোট কোষের সংখ্যা, $N=m\times n$ হইবে। প্রত্যেকটি কোষের তড়িচ্চালক বল $=E$ এবং আভ্যন্তরীণ

রোধের মান 'r' হইলে প্রত্যেকটি পংক্তির মোট তড়িচ্চালক বল $= nE$ এবং মোট রোধ $= nr$ হইবে। পংক্তিগুলি সমান্তরালে থাকায়, আভ্যন্তরীণ রোধের মোট পরিমাণ



চিত্র—?জ

$= nr/m$ হইবে। ধর, বহির্বর্তনীর মোট রোধ $= R$, সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $= R + nr/m$.

বহির্বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ i হইলে ;

$$i = \frac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{nE}{R + nr/m} = \frac{mnE}{mR + nr} = \frac{NE}{mR + nr}$$

এইবার দেখিতে হইবে যে 'm' এবং 'n'-এর মান কিরূপ হইলে তড়িৎপ্রবাহের মান সর্বোচ্চ হইবে। আমরা জানি,

$$i = \frac{NE}{mR + nr} = \frac{NE}{(\sqrt{mR} - \sqrt{nr})^2 + 2\sqrt{mnrR}}$$

নির্দিষ্ট সংখ্যক এবং নির্দিষ্ট ধরনের কোষের জন্য NE ধ্রুবক। সুতরাং হরের মান সর্বনিম্ন হইলে তড়িৎপ্রবাহের মান সর্বোচ্চ হইবে। কিন্তু হরের শেষের অংশ অর্থাৎ $2\sqrt{mnrR}$ একটি ধ্রুবক। সুতরাং হরের প্রথম অংশ অর্থাৎ $(\sqrt{mR} - \sqrt{nr})^2$-এর মান সর্বনিম্ন হইবে। কিন্তু কোন বর্গের সর্বনিম্ন মান 0 হইতে পারে।

$$\therefore \ (\sqrt{mR} - \sqrt{nr})^2 = 0 \quad \text{বা,} \quad (\sqrt{mR} - \sqrt{nr}) = 0$$

$$\text{বা,} \quad \sqrt{mR} = \sqrt{nr} \qquad \text{বা,} \quad R = nr/m$$

অর্থাৎ বহির্বর্তনীব রোধ $=$ সমগ্র ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ। এই অবস্থায় তড়িৎ-প্রবাহের মান সর্বোচ্চ হইবে।

2-12. তড়িৎ সংক্রান্ত কতকগুলি যন্ত্রপাতি (Some accessories for electricity) :

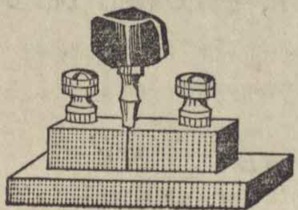
তড়িৎ সংক্রান্ত বিষয়ে বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয় এইরূপ কতকগুলি যন্ত্রপাতি নীচে বর্ণিত হইল :

(a) **চাবি** (Keys) :

কোন বর্তনীতে চাবির সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ চালানো বা বন্ধ করা সম্ভব। পরীক্ষাগারে সাধারণত দুই প্রকারের চাবি ব্যবহৃত হইয়া থাকে। যথা : (i) **প্লাগ চাবি** (Plug key) এবং (ii) **টেপা চাবি** (Tap key)।

(i) **প্লাগ চাবি** (Plug key) :

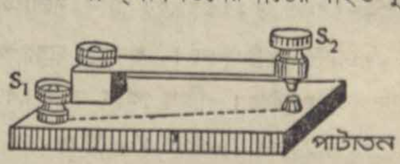
এই ধরনের চাবিতে একটি এবোনাইট প্লেটের উপর দুইটি মোটা ধাতব পাত একটু ফাঁক অবস্থায় থাকে। পাত দুইটির সংগে দুইটি স্ক্রু আটকানো আছে এবং ফাঁকটির ভিতর একটি ধাতব প্লাগ বসিতে পারে (চিত্র 2ঝ)। স্ক্রু দুইটির সহিত কোন তড়িৎ বর্তনীর দুই প্রান্তকে যোগ করিয়া প্লাগটি বসাইলে বর্তনীটি সম্পূর্ণ হইবে। প্লাগটি তুলিয়া লইলে আর কোন তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে না। অনেকক্ষণ ধরিয়া কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইতে হইলে এই ধরনের চাবি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।



চিত্র—2ঝ

(ii) **টেপা চাবি** (Tap key) :

2ঞ নং চিত্রে একটি টেপা চাবি দেখানো হইয়াছে। একটি এবোনাইট পাটাতনের উপরে S_1 ও S_2 দুইটি স্ক্রু আছে। S_2 স্ক্রুটি একটি পাত্‌লা পিতলের পাতের সহিত যুক্ত এবং উহার মাথায় একটি এবোনাইটের টুপী আছে। টুপীটি টিপিলে S_2 স্ক্রুটি পাটাতনের উপর একটি বোতামকে স্পর্শ করিবে। এই বোতামটি একটি তারের সাহায্যে S_1 স্ক্রুর সহিত যুক্ত থাকে। তড়িৎ বর্তনীর দুই প্রান্তকে S_1 ও S_2-এর সহিত যুক্ত করিয়া টুপীটি টিপিলে তড়িৎ বর্তনীটি সম্পূর্ণ হইবে এবং উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে। টুপীটি ছাড়িয়া



চিত্র—2ঞ

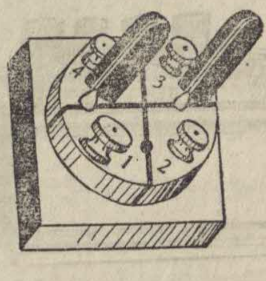
দিলে S_2 স্ক্রুটি উপরে উঠিয়া যাইবে এবং বর্তনীর মধ্যদিয়া তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইয়া যাইবে। সাময়িকভাবে কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইতে হইলে এই ধরনের চাবি ব্যবহৃত হয়।

উপরোক্ত দুই ধরনের চাবি ছাড়া বাড়ীতে বৈদ্যুতিক পাখা ও আলোকের তড়িৎ-প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করিবার জন্য আর এক ধরনের চাবি ব্যবহৃত হয়। ইহাদিগকে **সুইচ্** (Switch) বলা হইয়া থাকে।

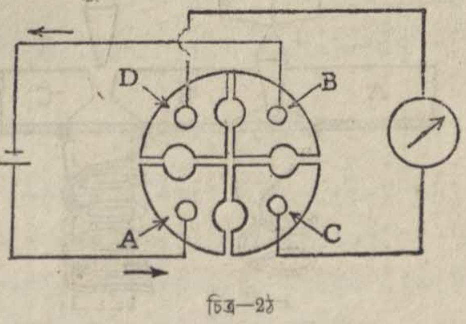
(*b*) **কম্যুটেটার** (Commutator):

কোন বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করিবার জন্য কম্যুটেটার ব্যবহৃত হইয়া থাকে। কম্যুটেটার সাধারণত দুই প্রকারের। যথা: (i) **প্লাগ কম্যুটেটার** (Plug Commutator) এবং (ii) Pohl's Commutator. এই পুস্তকে কেবলমাত্র প্লাগ কম্যুটেটারের বিষয় আলোচিত হইবে।

এই ধরনের কম্যুটেটারে (চিত্র 2ট) একটি এবোনাইট পাটাতনের উপর চারিটি পিতলের মোটা পাত (1, 2, 3, 4) আছে। পাতগুলির পরস্পরের মধ্যে ফাঁক আছে এবং এই ফাঁকে একটি করিয়া প্লাগ বসানো যাইতে পারে। প্রত্যেকটি পাতের উপর একটি করিয়া স্ক্রু লাগানো থাকে। যে বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করিতে হইবে তাহার দুই প্রান্তকে কম্যুটেটারের দুইটি কোনাকুনি স্ক্রুর সহিত যুক্ত করিতে



চিত্র—2ট



চিত্র—2ঠ

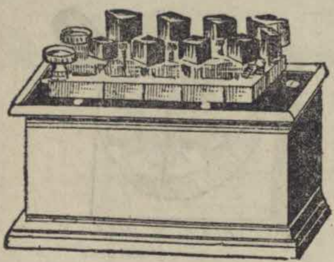
হইবে। তড়িৎ কোষের প্রান্ত দুইটিকে অপর দুইটি কোনাকুনি স্ক্রুর সহিত আটকাইতে হইবে। প্লাগ দুইটিকে যে কোন ব্যাস বরাবর রাখিলে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে।

বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইতে হইলে প্লাগ দুইটিকে অপর দুইটি ফাঁকে বসাইতে হইবে।

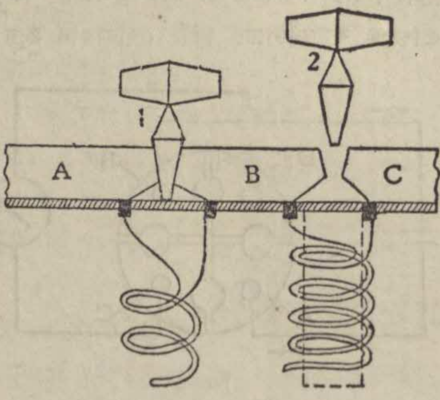
2ঠ নং চিত্রে ইহাকে আরও বিশদভাবে দেখানো হইল। প্লাগ দুইটি উপরের এবং নীচের ফাঁকে বসাইলে গ্যালভানোমিটার M-এ তড়িৎপ্রবাহ C হইতে D অভিমুখে ঘটিবে। কিন্তু প্লাগ দুইটিকে পাশাপাশি ফাঁকে বসাইলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ D হইতে C অভিমুখে চলিবে।

(c) **রোধ বাক্স** (Resistance box) :

বিভিন্ন মানের কতকগুলি রোধকুণ্ডলীকে পরপর একটি বাক্সে সাজানো হইলে উহাকে রোধ বাক্স বলা হয় (চিত্র 2ড)। রোধ কুণ্ডলীগুলি সাধারণত ম্যাঙ্গানীন তারের তৈয়ারী এবং সিল্ক দ্বারা আবৃত থাকে। যে কোন রোধ কুণ্ডলীর প্রান্ত দুইটিকে এবোনাইটের টুকরার উপর বসানো দুইটি পুরু পিতলের টুকরার সহিত ঝালাই করিয়া দেওয়া হয়। পিতলের টুকরা দুইটির ভিতরে যে ফাঁক থাকে তাহা এবোনাইটের হাতল যুক্ত ধাতব প্লাগ দ্বারা বন্ধ করিয়া দেওয়া যায়। প্লাগটি লাগাইলে তড়িৎপ্রবাহ রোধ কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া গমন না করিয়া প্লাগের ভিতর দিয়া সরাসরি প্রবাহিত



চিত্র—2ড

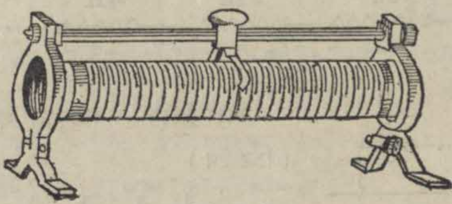


চিত্র—2ঢ

হইবে। প্লাগটি খুলিয়া দিলে তড়িৎপ্রবাহকে রোধ কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া যাইতে

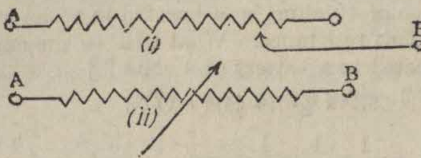
হইবে। ফলে ঐ রোধ কুণ্ডলীর রোধ তড়িৎবর্তনীর অংশীভূত হইয়া যাইবে। 2চ চিত্রে 2নং রোধ-কুণ্ডলী বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হইবে কিন্তু 1নং কুণ্ডলী হইবে না। কারণ, এই ক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহ সোজাসুজি B হইতে A-তে চলিয়া যাইবে। রোধ কুণ্ডলীগুলির রোধের মান ওহ্মের ভগ্নাংশ হইতে কয়েক হাজার ওহ্ম্ পর্যন্ত হইতে পারে।

(d) **রিওস্ট্যাট বা পরিবর্তনীয় রোধ** (Rheostat or Variable resistance) : একটি রিওস্ট্যাটে অন্তরক পদার্থের তৈয়ারী একটি চোঙ্ থাকে এবং উহার উপর অনাবৃত ধাতব তার (সাধারণত ম্যাঙ্গানীন ধাতুর তৈয়ারী) জড়ানো থাকে [চিত্র



চিত্র—2ণ (i)

2ণ (i)]। তারের পাকগুলি পরস্পরকে স্পর্শ করে না এবং দুইটি সংযোজক স্ক্রুর সঙ্গে তারের প্রান্ত দুইটি আটকানো থাকে। চোঙের উপরে ইহার সমান্তরাল ভাবে একটি ধাতবদণ্ড অবস্থিত এবং তাহার উপরে একটি ধাতব স্লাইডার (slider) বিদ্যমান। ধর, তড়িৎবর্তনীর দুই প্রান্তকে চোঙের ডানদিকের স্ক্রু দুইটির সহিত যুক্ত করা হইল। সেক্ষেত্রে স্লাইডারের ডানদিকে তারের যে পাকগুলি আছে সেইগুলি বর্তনীতে রোধ



চিত্র—2ণ (ii)

প্রদান করিবে। স্লাইডারকে ডানদিকে সরাইলে রোধের মান কমিয়া যাইবে। রোধের মান বাড়াইতে হইলে স্লাইডারটিকে বামদিকে সরাইতে হইবে। সুতরাং রিওস্ট্যাটের সাহায্যে কোন বর্তনীতে রোধের মান প্রয়োজনমত পরিবর্তন করা সম্ভব।

2ণ (ii) নং চিত্রে রিওস্ট্যাটের প্রতীক দেখানো হইল।

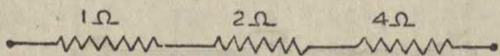
উদাহরণ ঃ

1. 1, 2 এবং 4 ওহমের তিনটি রোধকে শ্রেণী বদ্ধ সমবায়ে রাখিলে তুল্যাঙ্ক রোধ কত হইবে ? উহাদিগকে সমান্তরাল সমবায়ে রাখিলে তুল্যাঙ্ক রোধ কত হইবে ?

[Three resistances 1 ohm, 2 ohms and 4 ohms are connected in series. Calculate the effective resistance. What will be effective resistance when they are connected in parallel ?

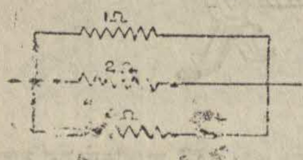
উ। রোধগুলিকে শ্রেণী সমবায়ে রাখিলে (চিত্র 2ত) তুল্যাঙ্ক রোধ

$$R=r_1+r_2+r_3=1+2+4=7\Omega$$



চিত্র—2ত

তাহাদিগকে সমান্তরাল সমবায়ে রাখিলে (চিত্র 2থ)



চিত্র—2থ

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}=\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{4}=\frac{7}{4}$$

$$\therefore \quad R=\frac{4}{7}\,\Omega.$$

2. 20 ওহম এবং 30 ওহ্মের দুইটি রোধ সমান্তরাল সমবায়ে আছে। 40 ওহ্মের একটি রোধকে উহাদের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিলে তুল্যাঙ্ক রোধ কত হইবে ? 2 ভোল্ট ব্যাটারীর সহিত উহাদিগকে যুক্ত করিলে তড়িৎপ্রবাহ কত হইবে ?

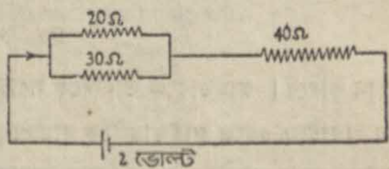
[Two resistances 20 ohms and 30 ohms are connected in parallel. Another resistance of 40 ohms is connected in series with them. Calculate the equivalent resistance. What will be the current if the combination is connected to a battery of 2 volts ?]

উ। প্রথম দুইটি রোধের তুল্যাঙ্ক রোধ r হইলে

$$\frac{1}{r}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}=\frac{1}{20}+\frac{1}{30}=\frac{1}{12}$$

$$\therefore \quad r=12\,\Omega$$

কিন্তু 40 ওহমের রোধটি শ্রেণী সমবায়ে আছে (চিত্র 2দ)। সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $=12+40=52\,\Omega$



চিত্র—2দ

তড়িৎ প্রবাহ, $I=\dfrac{V}{R}=\dfrac{2}{52}=\dfrac{1}{26}$ অ্যামপীয়ার।

3. শ্রেণীবদ্ধ ভাবে যুক্ত 100টি কোষের সহিত দুইটি বাতিকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা আছে। প্রত্যেকটি বাতির রোধ 50 ওহ্‌ম এবং প্রত্যেকটি কোষের তড়িৎচালক বল এবং আভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে 1·5 ভোল্ট এবং 1 ওহ্‌ম হইলে বাতির ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ নির্ণয় কর।

[Two lamps, each of resistance 50 ohms, are arranged in series with 100 cells, all joined in series. If the internal resistance of each cell be 1 ohm and the e.m.f. of each cell 1·5 volts, calculate the current in the lamps.] *[H. S. Exam. 1960]*

উ। শ্রেণী সমবায়ে আছে বলিয়া বাতি দুইটির তুল্যাঙ্ক রোধ

$$= 50 + 50 = 100 \ \Omega$$

তড়িৎ কোষগুলির মোট রোধ $= 100 \times 1 = 100 \ \Omega$

বর্তনীর মোট রোধ $= 100 + 100 = 200 \ \Omega$

বর্তনীর তড়িচ্চালক বল $= 100 \times 1·5 = 150$ ভোল্ট

বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ, $I = \frac{V}{R} = \frac{150}{200} = 0·75$ **অ্যামপীয়ার।**

4. এক কিলোগ্রাম তামাকে (*a*) এক মিলিমিটার ব্যাস বিশিষ্ট এবং (*b*) 2 মিমি. ব্যাস বিশিষ্ট তারে রূপান্তরিত করিলে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় উহাদের রোধের তুলনা কর।

[1 kilogram of copper is drawn up into a wire (*a*) 1 mm. diameter and (*b*) 2 mm. diameter. Compare their resistances at the same temperature] *[H.S. (Camp.) 1960]*

উ। ধর, কোন তারের দৈর্ঘ্য $= l$, ব্যাস $= d$; রোধাঙ্ক $= \rho$ এবং মোট রোধ $= R$

$$\therefore \quad R = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{\frac{\pi d^2}{4}} = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$$

ধর, তারটির ঘনত্ব $= D$ এবং ভর $= M$

আমরা জানি, আয়তন × ঘনত্ব = ভর

$$\therefore \quad \frac{\pi d^2}{4} \times l \times D = M$$

বা, $l = \frac{4M}{D\pi d^2}$

$$\therefore \quad R=\frac{4\rho}{\pi d^2}\times\frac{4M}{D.\pi d^2}=\frac{16M\rho}{(\pi)^2.D(d)^4}$$

$$\text{বা,} \quad R\propto\frac{1}{d^4}.$$

সুতরাং একই ভর বিশিষ্ট d_1 ও d_2 ব্যাসের দুইটি তারের রোধ R_1 এবং R_2 হইলে, $\frac{R_1}{R_2}=\frac{{d_2}^4}{{d_1}^4}$.

কিন্তু এক্ষেত্রে $d_2=2$ মিমি. $=0\cdot2$ সেমি. এবং $d_1=0\cdot1$ সেমি.।

$$\therefore \quad \frac{R_1}{R_2}=\frac{(0\cdot2)^4}{(0\cdot1)^4}=16.$$

5. 1 মিমি. ব্যাস বিশিষ্ট 642 মিটার দীর্ঘ তামার তারের রোধ নির্ণয় কর। (তামার রোধাঙ্ক $=1\cdot8\times10^{-6}$ ওহ্‌ম সেমি.।)

[Calculate the resistance of 642 metres of copper wire of 1 mm. diameter. (Sp. resistance of copper $=1\cdot8\times10^{-6}$ ohm-cm).]

উ। তারটির দৈর্ঘ্য, $l=642\times100$ সেমি.

$$\text{প্রস্থচ্ছেদ,} \quad A=\frac{\pi(\cdot1)^2}{4}=\frac{0\cdot01\times\pi}{4} \text{ বর্গ সেমি.}$$

$$\therefore \quad \text{তারটির রোধ,} \quad R=\rho\frac{l}{A}=1\cdot8\times10^{-6}\times\frac{642\times100}{0\cdot01\pi}\times4$$

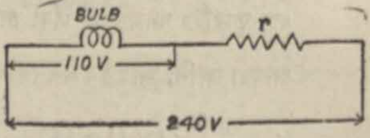
$$=1\cdot47\ \Omega$$

6. 1 অ্যাম্পীয়ার, 110 ভোল্টের কোন বাতিকে 240 ভোল্ট বর্তনীতে ব্যবহার করিতে হইলে এবং তড়িৎ-প্রবাহ অপরিবর্তিত রাখিতে হইলে কি পরিমাণ রোধ-যুক্ত করিতে হইবে ?

[What resistance must be connected in series with an 1 amp., 110 volt lamp if it is to be used, taking its rated current on a 240 volt circuit ?

$$\text{উ।} \quad \text{বাতিটির রোধ}=\frac{\text{বিভব-প্রভেদ}}{\text{তড়িৎ-প্রবাহ}}=\frac{110}{1}=110\ \Omega$$

ধর, যে রোধটি শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত হইয়াছে তাহার মান $=r$ (চিত্র 2ধ) কিন্তু এক্ষেত্রে বাতিটির ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ 1 অ্যাম্পীয়ার হইতে হইবে।



চিত্র—2ধ

$$\therefore \quad 1=\frac{240}{110+r}$$

বা, $110+r=240$ বা, $r=130\ \Omega$.

7. একটি তারের কুণ্ডলীর রোধ 20 ওহ্ম। কি পরিমাণ সান্ট ব্যবহার করিলে সমন্বয়ের রোধ 15 ওহ্ম হইবে ?

[A coil of wire has a resistance of 20 ohms. By what resistance must it be shunted so that the combination may have a resistance of 15 ohms ?] *[C. U. 1964]*

উঃ। ধর, r ওহ্ম রোধকে সমান্তরাল সমবায়ে রাখা হইল।

আমরা জানি, $\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}$

$$\therefore \quad \frac{1}{15}=\frac{1}{20}+\frac{1}{r} \text{ বা, } \frac{1}{r}=\frac{1}{15}-\frac{1}{20}=\frac{1}{60}$$

$$\therefore \quad r=60\ \Omega.$$

8. গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ 99 ওহ্ম, সান্টের রোধ 1 ওহ্ম এবং মূল বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ 1 অ্যাম্পীয়ার হইলে গ্যালভ্যানোমিটারে তড়িৎপ্রবাহ কত হইবে ?

[The resistance of a galvanometer is 99 ohms and that of the shunt is 1 ohm. Find the current through the galvanometer if the main circuit current be 1 amp.

উঃ। $I_g=\frac{S}{G+S}.I=\frac{1}{99+1}\times 1=\frac{1}{100}=\cdot 01$ অ্যাম্পীয়ার।

9. 5·8 ওহ্ম রোধ-বিশিষ্ট গ্যালভ্যানোমিটারে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা 0·1 অ্যাম্পীয়ারের বেশী হওয়া চলিবে না। মূল বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ 3 অ্যাম্পীয়ার হইলে সান্টের মান নির্ণয় কর।

[The current through a galvanometer of resistance 5·8 ohms must not exceed 0·1 amp. If the main circuit current be 3 amp, then design the shunt.

উঃ। আমরা জানি, $I_g=\frac{S}{G+S}.I$

$$\therefore \quad 0{\cdot}1=\frac{S}{5{\cdot}8+S}\times 3 \text{ বা, } 0{\cdot}58+0{\cdot}1S=3S$$

$$\text{বা, } 2{\cdot}9\,S=0{\cdot}58 \text{ বা, } S=0{\cdot}2\ \Omega$$

10. কোন কোষের তড়িৎ চালক বল 1.5 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 2 ওহ্‌ম। সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত 2 ওহ্‌ম এবং 4 ওহ্‌ম রোধের সহিত কোষটিকে যুক্ত করিলে কোষের প্রান্তদ্বয়ের বিভব বৈষম্য কত হইবে ?

[A cell has an e. m. f. of 1·5 volts and internal resistance 2 ohms. If the terminals of the cell are connected by two wires of resistance 2 ohms and 4 ohms respectively in parallel, what is the potential difference between the terminals of the cell ?] *[N.B.U. 1963]*

উঃ। রোধ দুইটি সমান্তরাল সমবায়ে আছে। তুল্যাঙ্ক রোধ R' হইলে,

$$\frac{1}{R'}=\frac{1}{2}+\frac{1}{4}=\frac{3}{4} \qquad \therefore \quad R'=\frac{4}{3}\ \Omega$$

বর্তনীর মোট রোধ $=\frac{4}{3}+2=\frac{10}{3}\ \Omega$

বর্তনীতে মূল তড়িৎ-প্রবাহ $=\dfrac{1·5}{\frac{10}{3}}=\dfrac{4·5}{10}=0·45$ অ্যাম্পীয়ার

কোষের প্রান্তদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য $=1·5-2\times0·45$

$=1·5-0·9=0·6$ ভোল্ট।

11. কোন কোষের তড়িৎ চালক বল 2·05 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 0·05 ওহ্‌ম। একটি ভোল্টমিটারকে উহার সহিত যুক্ত করিলে নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে উহার পাঠ কত হইবে ?

(*a*) কোষটি কোন তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করে না।

(*b*) কোষের প্রান্তদ্বয় একটি তারের সহিত যুক্ত এবং কোষের ভিতর তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা 5 অ্যাম্পীয়ার।

[The terminals of a cell of e. m. f. 2·05 volts and internal resistance 0·05 ohms are connected to a voltmeter. What will be the reading of the voltmeter, when

(a) the cell does not supply a current

(b) the terminals of the cell are connected by a wire and a current of 5 amperes flows through the cell ?] *[H. S. (Comp.) 1962]*

উঃ। (a) কোন তড়িৎপ্রবাহ না ঘটিলে কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের জন্য কোন বিভবপতন ঘটিবে না। সুতরাং ভোল্টমিটারের পাঠ 2·05 ভোল্ট হইবে।

(b) এই ক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ=5 অ্যাম্পীয়ার।

আভ্যন্তরীণ রোধের জন্য বিভবপতন

=আভ্যন্তরীণ রোধ × তড়িৎপ্রবাহ

$=0{\cdot}05\times5=0{\cdot}25$ ভোল্ট।

সুতরাং ভোল্টমিটারের নির্দেশ পাঠ

$=2{\cdot}05-0{\cdot}25=1{\cdot}80$ ভোল্ট।

12. একই রোধ বিশিষ্ট দুইটি তামার তারের দৈর্ঘ্যের অনুপাত 1 : 2 হইলে উহাদের ব্যাসের অনুপাত নির্ণয় কর।

[Two copper wires, whose lengths are in the ratio of 1 : 2, are of the same resistance. Compare the diameters of the wires.

[H. S. Exam. 1962]

উঃ। তার দুইটির ব্যাস যথাক্রমে d_1 ও d_2 ধরা হইল। প্রথম তারটির দৈর্ঘ্য l হইলে দ্বিতীয় তারটির দৈর্ঘ্য $2l$ হইবে। তার দুইটির প্রস্থচ্ছেদ বা ক্ষেত্রফল যথাক্রমে $\frac{\pi d_1^2}{4}$ ও $\frac{\pi d_2^2}{4}$.

তামার তারের রোধাঙ্ক ρ হইলে, প্রদত্ত সর্তানুসারে,

$$\text{রোধ}=\frac{\rho l}{\frac{\pi d_1^2}{4}}=\frac{\rho 2l}{\frac{\pi d_2^2}{4}} \quad \therefore \quad \frac{d_1^2}{d_2^2}=\frac{1}{2} \quad \text{বা,} \quad \frac{d_1}{d_2}=\frac{1}{\sqrt{2}}.$$

প্রশ্নাবলী

1. ওহমের সূত্র লিখ। কোন কোষের তড়িৎচালক বল 1·5 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 0·07 ওহ্‌ম। তড়িৎপ্রবাহ 5 অ্যাম্পীয়ার হইলে রোধের মান নির্ণয় কর। [State Ohm's law. The e.m.f. of a cell is 1·5 volt. Its internal resistance is 0·07 Ohm. What resistance should be added to give a current of 5 amperes ?] Ans. 0·23 ওহ্‌ম।

2. পরিবাহীর রোধ কাহাকে বলে? কি কি রাশির উপর এবং কিভাবে রোধের মান নির্ভর করিবে? রোধাঙ্কের সংজ্ঞা দাও। [What is meant by resistance of a conductor ? Upon what factors and in what way does the resistance depend ? Define specific resistance.]

3. কতকগুলি রোধকে (i) শ্রেণী সমবায়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিলে তুল্যাঙ্ক রোধ কত হইবে? [What will be the equivalent resistance when several resistances are connected (i) in series and (ii) in parallel ?]

4. নিম্নলিখিত ঘটনাগুলি আলোচনা কর:

(i) রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব; (ii) রোধের উপর আলোকের প্রভাব এবং (iii) রোধের উপর চৌম্বকক্ষেত্র ও চাপের প্রভাব। [Discuss the following phenomena :—(i) effect of temperature on resistance (ii) effect of light on resistance and (iii) effect of magnetic field and pressure on resistance.]

5. সান্ট কাহাকে বলে? সান্টের উপযোগিতা বর্ণনা কর। [What is shunt. Discuss its usefulness.]

6. কতকগুলি কোষকে (i) শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে (ii) সমান্তরাল সমবায়ে এবং (iii) মিশ্র সমবায়ে রাখিলে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ কত হইবে? [What will be the current in the main circuit when several cells are connected (i) in series; (ii) in parallel and (iii) in mixed combination?]

7. কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের মান বেশী হইলে তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধির জন্য কতকগুলি কোষকে কিভাবে যুক্ত করা উচিত তাহা ব্যাখ্যা কর। [Explain the mode of combination of cells necessary to have a large current when the internal resistance of the cells are comparatively large.]

8. Three resistances 3 ohms, 6 ohms and 10 ohms are connected in series. What will be the effective resistance? Find the effective resistance when they are connected in parallel? [Ans: 19 ohms; 1·67 ohms.]

9. Two resistances 3 ohms and 2 ohms are connected in parallel; another resistance of 1·8 ohms is connected in series with them. What will be the effective resistance? Find the current if the combination be connected to a cell of 1·5 volts. (Neglect internal resistance of the cells.) [Ans: 3 ohms; ·5 amp.]

10. A galvanometer of resistance 1·5 ohms is shunted with a resistance of ·1 ohm. Find the current through the galvanometer if the main circuit current be 2 amps. [Ans: ·02 amps.]

11. If the current through a shunted ammeter is only $\frac{1}{10}$ th. of the main circuit current, then find the ratio between the resistance of the shunt and the resistance of the ammeter. [Ans: 1 : 9]

12. The resistance of a metallic wire of length 110 cm. and diameter 0·014 cm. is 30 ohms. Calculate the specific resistance. [Ans; $10{\cdot}2\times10^{-6}$ ohms.]

13. Two conductors of 10 and 15 ohms resistance are put in series. Three such sets are put in parallel. What is the resistance of the whole?

[Ans: 8·33 ohms.]

14. Three cells each of e.m.f 2 volts and internal resistance 0·5 ohms are connected in series. Three such sets are connected in parallel. The battery is connected to a resistance of 20 ohms. Find the current through the resistance.

[Ans: 0·322 amp]

15. Nicrome has a resistivity of 110×10^{-6} ohm-cm. What is the resistance of 10 metres of nicrome wire of cross-section 1 sq. mm.? What will be the resistance when the wire is folded on itself and the free ends are joined together, thus halving the length? [Ans. 11 ohms; 2·75 ohms.]

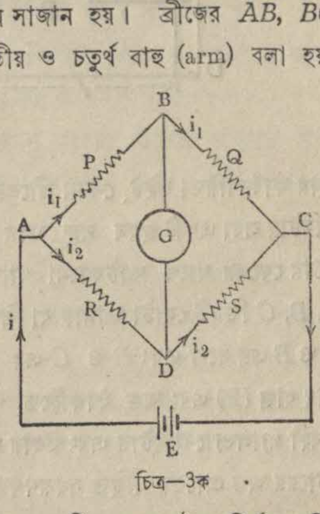
তৃতীয় অধ্যায়

বৈদ্যুতিক পরিমাপ সমূহ

(Electrical Measurements)

3.1. **সূচনা :** রোধ, তড়িৎচালক বল, তড়িৎপ্রবাহ, ধারকত্ব ইত্যাদি বৈদ্যুতিক রাশিগুলিকে পরীক্ষাগারে মাপা হইয়া থাকে। মাপন যোগ্য রাশির পরিমাণ এবং কতটা নিখুঁত ভাবে রাশিটিকে মাপিতে হইবে তাহার উপর মাপনের জন্য কি পদ্ধতি অবলম্বন করিতে হইবে তাহা নির্ভর করে। সাধারণত অধিকাংশ পদ্ধতিতে প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষ ভাবে হুইট্ স্টোন ব্রীজের কার্য নীতি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

3-2 **হুইট স্টোন ব্রীজের নীতি** (Principle of a Wheatstone Bridge) : 3ক নং চিত্রে হুইট স্টোন ব্রীজ দেখান হইয়াছে। P, Q, R, S চারটি রোধ এবং উহাদিগকে চতুর্ভুজের চারটি বাহুতে চিত্রের ন্যায় সাজান হয়। ব্রীজের AB, BC, AD এবং DC-কে যথাক্রমে প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ও চতুর্থ বাহু (arm) বলা হয়। চতুর্ভুজের বিপরীত কৌণিক বিন্দু B ও D-এর মধ্যে গ্যালভ্যানোমিটার এবং A ও C-এর মধ্যে তড়িৎ কোষ সংযুক্ত করা আছে। প্রয়োজন অনুসারে গ্যালভ্যানোমিটারের জায়গায় তড়িৎকোষ ও তড়িৎকোষের জায়গায় গ্যালভ্যানোমিটার বসান যাইতে পারে। ব্রীজের বিভিন্ন শাখায় অবস্থিত রোধগুলিকে এমন ভাবে পরিবর্তিত করা হয়, যাহাতে গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহ যাইবে না। এই অবস্থায়



চিত্র—3ক

B ও D বিন্দুর বিভব একই হইবে, অর্থাৎ $V_b = V_d$. তড়িৎ কোষ হইতে নির্গত তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ i, A বিন্দুতে আসিয়া i_1 এবং i_2 ভাগে বিভক্ত হইয়া যায়। গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর কোন তড়িৎ প্রবাহ থাকে না বলিয়া ABC-এর ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা i_1 এবং ADC-এর ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা i_2 হইবে।

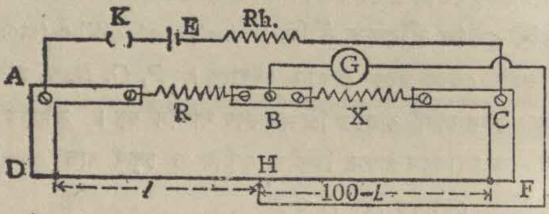
কিন্তু, $\frac{V_a-V_b}{V_b-V_c}=\frac{V_a-V_d}{V_d-V_c}$ $[\because V_b=V_d]$

বা, $\frac{i_1P}{i_1Q}=\frac{i_2R}{i_2S}$ বা, $\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$

সুতরাং, P, Q ও R-এর মান জানা থাকিলে S-এর মান সহজেই নির্ণয় করা যাইবে।

পরীক্ষাগারে রোধ মাপিবার জন্য মিটার ব্রীজ এবং পোষ্ট-অফিস বক্স ব্যবহৃত হইয়া থাকে এবং ইহাদের কার্যকারিতা হুইট স্টোন ব্রীজের নীতির উপর নির্ভরশীল।

3-3. **মিটার ব্রীজ** (Metre-bridge) : মিটার ব্রীজের সাহায্যে সহজেই সাধারণ মানের রোধকে মাপা যায়। 3খ নং চিত্রে একটি মিটার ব্রীজ দেখান হইয়াছে।



চিত্র—3খ

ইহার কার্যকারিতা হুইট্ স্টোন ব্রীজের কার্যনীতির উপর নির্ভরশীল। মিটার ব্রীজে 1 মিটার লম্বা একটি সুষম সরু তার (DF) একখানি কাঠের বোর্ডের উপর একটি মিটার স্কেলের পাশে আটকানো থাকে (মিটার স্কেল চিত্রে দেখানো হয় নাই)। A, B, C তিনটি মোটা তামার বা পিতলের পাত এবং ইহাদের রোধ শূন্য ধরা হয়। A ও B-এর মধ্যে এবং B ও C-এর মধ্যে ফাঁক থাকে। দুইটি ফাঁকের একটিতে রোধ বাক্স (R) এবং অন্য ফাঁকটিতে পরীক্ষণীয় রোধ (X) রাখা হয়। G একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার এবং উহার একপ্রান্ত B বিন্দুর সহিত যুক্ত। গ্যালভ্যানো-মিটারের অন্য প্রান্তের সহিত সঞ্চরণশীল জকির সাহায্যে DF-এর তারের যে কোন বিন্দুতে সংযোগ স্থাপন করা যায়। A এবং C বিন্দুর মধ্যে চাবি (K), তড়িৎ কোষ (E) এবং পরিবর্তনীয় রোধ (R_h) যুক্ত থাকে। মিটার ব্রীজের R ও X রোধ দুইটি এবং জকির দুই পাশে তারের DH ও HF অংশ দুইটি হুইট্ স্টোন ব্রীজের চারিটি বাহু হিসাবে কাজ করে। এইবার জকিটিকে সরানড়া করিয়া তারের এমন একটি বিন্দুতে আনিতে হইবে যাহার সহিত গ্যালভ্যানোমিটারের সংযোগ স্থাপিত হইলেও

গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হইবে। জকির এই অবস্থানকে শূন্য অবস্থান (Null position) বলা হয়। H বিন্দুটি শূন্য অবস্থান সূচিত করিলে H বিন্দুর বিভব (V_h) এবং B বিন্দুর বিভব (V_b) সমান হইবে।

$$\therefore \quad V_a - V_b = V_a - V_h \text{ এবং } V_b - V_c = V_h - V_c.$$

$$\text{বা,} \quad \frac{V_a - V_b}{V_b - V_c} = \frac{V_a - V_h}{V_h - V_c}.$$

মিটার ব্রীজের উপরের এবং নীচের শাখায় তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা যথাক্রমে i_1 এবং i_2 হইলে এবং মিটার ব্রীজের তারের প্রতি এককের রোধ σ হইলে উপরের সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$\frac{i_1 R}{i_1 X} = \frac{i_2 l \sigma}{i_2 (100 - l)\sigma}.$$

$$\text{বা,} \quad X = R.\frac{100 - l}{l}.$$

R এবং l-এর মান জানা থাকিলে X-এর মান সহজেই নির্ণয় করা যাইবে।

রোধ বাক্স হইতে বিভিন্ন পরিমাণ রোধ তুলিয়া পরীক্ষাটি কয়েকবার করা উচিত। সেক্ষেত্রে X-এর গড় মান পাওয়া যাইবে এবং প্রাপ্ত ফল আরও নির্ভুল হইবে।

পরীক্ষাটিকে সুবেদী করার জন্য R-এর মান এমন লওয়া উচিত যাহাতে শূন্য অবস্থানটি মোটামুটিভাবে তারের মাঝামাঝি থাকে। তারটির দৈর্ঘ্য 1 মিটার বলিয়া এই যন্ত্রকে মিটার ব্রীজ বলা হয়।

ত্রুটীর কারণ ও সাবধানতা (Sources of errors and precautions):

(i) ব্রীজের তার এবং অন্যান্য ধাতুর সংযোগ স্থলের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহ ঘটিলে তাপীয় তড়িৎচালক বলের (thermo-e.m.f.) উদ্ভব ঘটে। ইহার ফলে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান পরিবর্তিত হইয়া যায়। এই ধরনের ত্রুটী দূর করিতে হইলে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করিতে হইবে এবং পরীক্ষা দুইটির ফল হইতে গড় মান নির্ণয় করিতে হইবে।

(ii) মিটার স্কেলের উপর জকি যে দৈর্ঘ্য সূচিত করে এবং নিস্পন্দ বিন্দুতে তারের প্রকৃত দৈর্ঘ্য এক নাও হইতে পারে। সে ক্ষেত্রে R ও X-এর স্থান পরিবর্তিত করিয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করিতে হইবে এবং গড় মান নির্ণয় করিতে হইবে।

(iii) হিসাবের সময় কেবলমাত্র তারের রোধ ধরা হইয়াছে। কিন্তু তামার পাত, ঝালাই ইত্যাদিরও কিছু পরিমাণ রোধ থাকে। উপরন্তু তারটিও ঠিকঠিক 1 মিটার

নাও হইতে পারে। এই সকল কারণে তারটির দুই প্রান্তে কিছু পরিমাণ রোধ বর্তমান থাকে এবং উপযুক্ত ভাবে ইহাকে হিসাবে না নিলে প্রাপ্ত ফলে ত্রুটী দেখা যাইবে। এই ধরনের ত্রুটীকে **প্রান্তিক ত্রুটী** (end-error) বলা হয় এবং বিভিন্ন মিটার ব্রীজে এই ত্রুটীর পরিমাণ বিভিন্ন হইতে পারে।

মনে কর, দুই প্রান্তে যে রোধ অন্তর্ভুক্ত আছে তাহা যথাক্রমে তারটির λ_1 এবং λ_2 সেমি. দৈর্ঘ্যের রোধের সমান। λ_1 এবং λ_2-এর মান জানিবার জন্য জানা রোধ P এবং Q-কে মিটার ব্রীজের দুইটি ফাঁকে রাখিয়া পরীক্ষাটি করিতে হইবে। এই ক্ষেত্রে নিস্পন্দ অবস্থায় তারের বাঁদিকের দৈর্ঘ্য l_1 হইলে,

$$\frac{P}{Q}=\frac{l_1+\lambda_1}{(100-l_1)+\lambda_2} \qquad \cdots(a)$$

P এবং Q-এর অবস্থান পরিবর্তিত করিয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করিতে হইবে। এই অবস্থায় নির্ণেয় দৈর্ঘ্য l_2 হইলে,

$$\frac{Q}{P}=\frac{l_2+\lambda_1}{(100-l_2)+\lambda_2} \qquad \cdots(b)$$

উপরের সমীকরণ দুইটি হইতে λ_1 এবং λ_2-এর মান সহজেই নির্ণয় করা যাইবে।

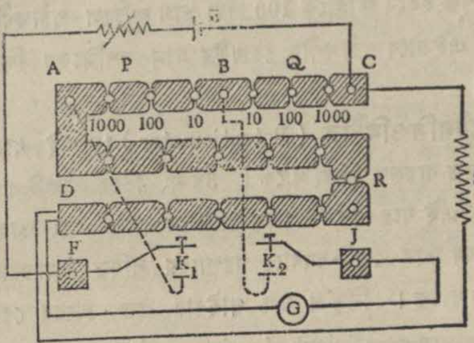
মূল পরীক্ষায় l-এর জায়গায় $(l+\lambda_1)$ এবং $(100-l)$-এর জায়গায় $(100-l+\lambda_2)$ ব্যবহার করিতে হইবে।

(*iv*) তারটির 1 সেমি. দৈর্ঘ্যের রোধ σ ধরা হইয়াছে; কিন্তু তারটি সুষম না হইলে ইহার মান সর্বত্র সমান হইবে না। সেক্ষেত্রে তারটিকে পূর্বেই ক্রমাঙ্কিত (calibrated) করিয়া রাখিলে তারটির বিভিন্ন বিন্দুতে সঠিক রোধের পরিমাণ জানা যাইবে।

(*v*) তাপমাত্রা পরিবর্তিত হইলে রোধ পরিবর্তিত হইয়া যায়। এই কারণে পরীক্ষার সময় অল্প সময়ের জন্য অল্প প্রবাহ পাঠান উচিত।

3-4. **পোষ্ট-অফিস বক্স** (Post-office Box): পোষ্ট-অফিস বক্স এক ধরনের হুইট্‌ স্টোন ব্রীজ। আগেকার দিনে ব্রিটেনের ডাকঘরে এই যন্ত্রের সাহায্যে টেলিগ্রাফ-তার ইত্যাদির রোধ মাপা হইত। এই কারণেই এই যন্ত্রের নাম পোষ্ট অফিস বক্স। 3গ নং চিত্রে পোষ্ট-অফিস বক্স ও আনুষঙ্গিক বর্তনী দেখান হইয়াছে। একটি বাক্সের মধ্যে তিনপ্রস্থ রোধ-কুণ্ডলী থাকে এবং ইহারা হুইট স্টোন ব্রীজের তিনটি বাহু সূচিত করে। চিত্রে AB, BC এবং ARD যথাক্রমে প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় বাহু সূচিত করিতেছে। প্রথম বাহু দুইটিকে অনুপাত বাহু (Ratio arm) এবং তৃতীয় বাহুটিকে

অনেক সময় পরিবর্তনীয় রোধ বাহু (Rheostat arm) বলা হইয়া থাকে। প্রথম দুইটি বাহুতে সাধারণত 10, 100 ও 1000 ওহ্‌মের তিনটি করিয়া রোধ-কুণ্ডলী থাকে। তৃতীয় বাহুতে সাধারণত 1 হইতে 5000 ওহ্‌ম পর্য্যন্ত বিভিন্ন মানের রোধ-কুণ্ডলী থাকে। যে রোধটির মান (S) নির্ণয় করিতে হইবে তাহাকে চতুর্থ বাহুতে



চিত্র—3গ

অর্থাৎ C ও D বিন্দুর মাঝখানে যুক্ত করা হয়। তড়িৎ কোষ বর্তনীকে টেপা চাবি (K_1)-এর মধ্য দিয়া A ও C বিন্দুতে যুক্ত করা হয় এবং গ্যালভ্যানোমিটারকে টেপাচাবি (K_2)-এর মধ্য দিয়া B ও D বিন্দুর সহিত যুক্ত করা হয়। পরীক্ষার সময় উপযুক্ত ভাবে তৃতীয় বাহুর রোধ পরিবর্তন করিয়া গ্যালভ্যানোমিটারে তড়িৎ-প্রবাহ শূন্য করা হয়।

পরীক্ষণীয় রোধের মান নির্ণয় করিবার জন্য প্রথম এবং দ্বিতীয় বাহু হইতে 10 ওহ্‌মের প্লাগ তুলিয়া লওয়া হইল। এইবার তৃতীয় বাহুতে এমনভাবে রোধ দেওয়া হইল, যাহাতে গ্যালভ্যানোমিটারের কোন বিক্ষেপ না থাকে। তিনটি বাহুর রোধ যথাক্রমে P, Q ও R হইলে এবং পরীক্ষণীয় রোধের পরিমাণ S হইলে, হুইট্‌ স্টোন ব্রীজের সর্তানুযায়ী,

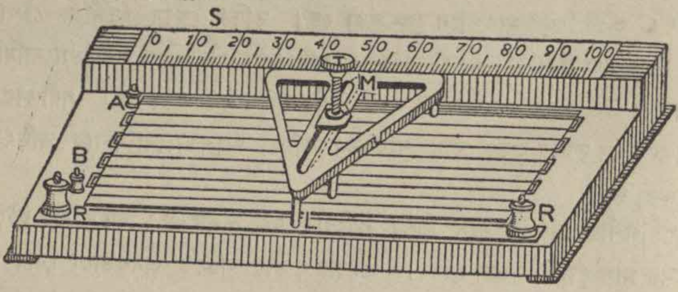
$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S} \qquad \text{বা,} \quad S=R.\frac{Q}{P}=R\frac{10}{10}=R$$

$$[\because \ \text{এক্ষেত্রে } P=Q=10\ ]$$

উপরের ক্ষেত্রে, তৃতীয় বাহুতে বিভিন্ন মানের রোধ যোগ করিলেও গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য নাও হইতে পারে। সেক্ষেত্রে প্রথম বাহুতে 100 ওহ্‌ম এবং দ্বিতীয় বাহুতে 10 ওহ্‌ম দিয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করিতে হইবে। তৃতীয় বাহুতে নির্দিষ্ট মানের রোধ দিয়া গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হইতেও পারে নাও হইতে

পারে। বিক্ষেপ শূন্য হইলে তৃতীয় বাহুতে দেওয়া রোধকে 10 দিয়া ভাগ করিলে পরীক্ষণীয় রোধের মান পাওয়া যাইবে। যদি গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য না হয়, তখন প্রথম বাহুতে 1000 ওহ্‌ম ও দ্বিতীয় বাহুতে 10 ওহ্‌ম দিয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করিতে হইবে। এই ক্ষেত্রে তৃতীয় বাহুতে যে পরিমাণ রোধ দিলে গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হইবে তাহাকে 100 দিয়া ভাগ করিলে পরীক্ষণীয় রোধের মান পাওয়া যাইবে। এইভাবে পরীক্ষণীয় রোধটির মান দশমিকের দ্বিতীয় স্থান পর্যন্ত নির্ণয় করা সম্ভব।

3-5. **পোটেনসিওমিটার** (Potentiometer) : এই ধরনের যন্ত্র বিভব-প্রভেদ মাপিবার জন্য ব্যবহৃত হইয়া থাকে। 3ঘ নং চিত্রে একটি পোটেনসিওমিটার দেখান হইয়াছে। এই যন্ত্রে একটি কাঠের পাটাতন থাকে এবং তাহার উপর দশটি 1 মিটার লম্বা সুষম তার শ্রেণী-সমবায়ে পরস্পরের সহিত সমান্তরালভাবে A ও B বিন্দুর মধ্যে সংযুক্ত থাকে। নির্ভুল ফল পাইবার জন্য তারের রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক (Temperature co-efficient of resistance) খুব কম হওয়া উচিত। এই

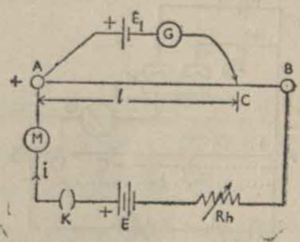


চিত্র—3ঘ

কারণেই সাধারণত ম্যাঙ্গানিন বা কনস্ট্যান্টানের তার লওয়া হয়। পোটেনসিও-মিটারের একপ্রান্তে প্রথম তারটির পাশে উঁচু পাটাতনের উপর একটি মিটার স্কেল এবং অপর প্রান্তে শেষ তারটির পাশে একটি পিতলের পাত RR লাগানো থাকে। পোটেনসিওমিটারের উপরে একটি পিতলের তিন পায়া জকি রাখা হয়। জকিটিকে তারের দৈর্ঘ্য বরাবর বামে বা দক্ষিণে সরানো যায় এবং এই সময় জকিটির একটি পা (L) সর্বদা পিতলের পাত RR-এর উপরে থাকিবে। জকির উপরে একটি চাবি (T) থাকে। উহাকে উপযুক্তভাবে সামনে বা পিছনে সরাইয়া যে-কোন তারের সহিত সংযুক্ত করা যায়।

3·6. পোটেনসিওমিটারের ব্যবহার (Uses of Potentiometer) :

(a) **কোষের তড়িৎচালক বল নির্ণয়** (Measurement of e.m f. of a cell) : 3৬ চিত্রে AB পোটেনসিওমিটার তার সূচিত করিতেছে। পোটেনসিও-মিটার তারের সহিত শ্রেণী সমবায়ে মিলি অ্যামমিটার (M), চাবি (K), ব্যাটারী (E) এবং পরিবর্তনীয় রোধ (R_h) যুক্ত আছে। ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরুকে A বিন্দুর সহিত যুক্ত করা হইয়াছে। E_1 কোষের তড়িৎচালক বল নির্ণয় করিতে হইলে উহার ধনাত্মক মেরুকে A বিন্দুর সহিত যুক্ত করিতে হইবে এবং অন্য প্রান্তকে গ্যালভ্যানো-মিটারের মধ্য দিয়া জকির সহিত যুক্ত করিতে হইবে। জকিটিকে সরানড়া করিয়া পোটেনসিওমিটারের নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করিতে হইবে। মনে কর জকিটি C বিন্দুতে স্পর্শ করিলে গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর আর কোন প্রবাহ থাকে না। সুতরাং C বিন্দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান সূচিত করিবে। স্পষ্টতই তারটির AC অংশের বিভব-প্রভেদ পরীক্ষণীয় কোষের তড়িৎচালক বলের সমান হইবে। পোটেনসিও-মিটারের সমগ্র তারের রোধ r ওহ্‌ম হইলে 1 সেমি. তারের রোধ $r/1000$ ওহ্‌ম হইবে। পোটেসিওমিটার বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা i অ্যাম্পীয়ার হইলে,



চিত্র—3৬

$$E_1 = \text{তারের } AC \text{ অংশের প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ}$$

$$= \text{তড়িৎ প্রবাহ} \times \text{রোধ} = \frac{i.r.l.}{1000} \text{ ভোল্ট।}$$

পরিবর্তনীয় রোধের সাহায্যে প্রবাহ-মাত্রা পরিবর্তিত করিয়া পরীক্ষাটি কয়েকবার করা উচিত এবং গড় মান নির্ণয় করিলে আরও নির্ভুল ফল পাওয়া যাইবে।

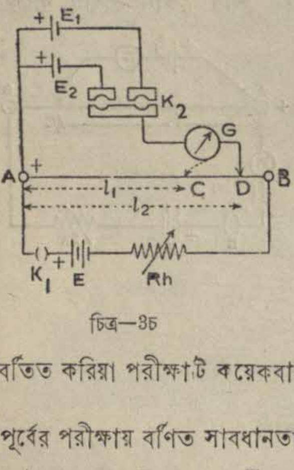
পরীক্ষাটি করিবার সময় নিম্নলিখিত সাবধানতা অবলম্বন করা উচিত :

(i) ব্যাটারীর তড়িৎচালক বলকে পরীক্ষণীয় কোষের তড়িৎচালক বল অপেক্ষা বেশী হইতে হইবে, তাহা না হইলে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান পাওয়া যাইবে না।

(ii) ব্যাটারী এবং পরীক্ষণীয় কোষের ধনাত্মক মেরুকে একই বিন্দুতে যুক্ত করিতে হইবে।

(iii) পরীক্ষণীয় রোধকে উপযুক্ত ভাবে পরিবর্তিত করিয়া নিস্পন্দ বিন্দুকে B-এর নিকটে করিতে হইবে। সেক্ষেত্রে শতকরা ভুলের পরিমাণ কম হইবে।

(b) **দুইটি কোষের তড়িৎচালক বলের তুলনা** (Comparison of e.m.f. of two cells): পোটেনসিওমিটার তার AB-এর সহিত শ্রেণী সমবায়ে চাবি (K_1), ব্যাটারী (E) এবং পরিবর্তনীয় রোধ (R_h) যুক্ত আছে (চিত্র 3চ)। E_1 এবং E_2 কোষের তড়িৎচালক বলের তুলনা করিতে হইবে। ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরু A বিন্দুতে যুক্ত থাকিলে পরীক্ষণীয় কোষ দুইটিরও ধনাত্মক মেরুকে A বিন্দুর সহিত যুক্ত করিতে হইবে। প্রয়োজন মত দুই-মুখ চাবির (Two-way key) K_2-এর সাহায্যে E_1 অথবা E_2-কে গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্য দিয়া জকির সহিত যুক্ত করা যায়। প্রথমে E_1 কোষকে বর্তনীর অন্তর্ভূক্ত করিয়া নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান (ধর C) নির্ণয় করিতে হইবে। দ্বিতীয় কোষের ক্ষেত্রে অনুরূপ নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান D বিন্দু ধরা হইল।



চিত্র—3চ

নিস্পন্দ অবস্থায় ব্যাটারী E হইতে প্রবাহমাত্রা i ধরা হইল। তাহাড়া মনে কর, $AC=l_1$, $AD=l_2$ এবং σ = প্রতি সেন্টিমিটার তারের রোধ।

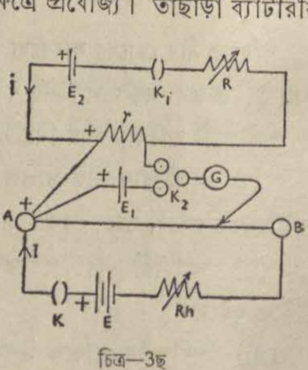
$$\therefore \quad E_1 = i\,l_1\,\sigma \text{ এবং } E_2 = i\,l_2.\sigma.$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}.$$

গড় মান নির্ণয়ের জন্য প্রবাহমাত্রা পরিবর্তিত করিয়া পরীক্ষাটি কয়েকবার করা উচিত।

পূর্বের পরীক্ষায় বর্ণিত সাবধানতাগুলিও এই ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। তাছাড়া ব্যাটারীর তড়িৎচালক বল, E_1 এবং E_2 অপেক্ষা বেশী হইতে হইবে।

(c) **প্রবাহমাত্রা নির্ণয়** (Measurement of current): পরীক্ষা ব্যবস্থাটি (3ছ নং চিত্রে) দেখান হইয়াছে। উক্ত বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ i হইলে তাহার মান মাপিবার জন্য একটি প্রমাণ নিম্নমানের রোধক r-কে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইল। রোধটি নিম্নমানের হওয়ার জন্য বর্তনীর মূল তড়িৎপ্রবাহের বিশেষ পরিবর্তন ঘটিবে না। এই রোধের



চিত্র—3ছ

দুইপ্রান্তের বিভব প্রভেদ V হইলে, তড়িৎ প্রবাহ-মাত্রা $i=V/r$ হইবে। দুই-মুখ চাবি K_2-এর সাহায্যে নিম্নমান রোধের বিভব-প্রভেদের জন্য নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করা হইল। পুনরায় E_1 কোষের জন্য নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান বাহির করিতে হইবে। A বিন্দু হইতে তাহাদের দূরত্ব l_1 এবং l_2 ধরা হইল। পোটেনসিওমিটার বর্তনীর মূল তড়িৎপ্রবাহ I হইলে এবং প্রতি সেণ্টিমিটার তারের রোধ σ হইলে,

$V=I.l_1\sigma$ এবং $E_1=I.l_2\sigma$

$$\frac{V}{E_1}=\frac{l_1}{l_2} \quad \text{বা,}\ V=\frac{E_1 l_1}{l_2} \quad \text{কিন্তু,}\ i=\frac{V}{r}=\frac{E_1 l_1}{r l_2}.$$

সমীকরণের দক্ষিণ দিকের রাশিগুলির মান জানা থাকিলে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা সহজেই নির্ণয় করা যাইবে।

উদাহরণ ঃ

1. একটি পোটেনসিওমিটারে 10টি তার আছে এবং প্রত্যেকটি তার সুষম ও 1 মিটার লম্বা। উহার সহিত নগণ্য আভ্যন্তরীণ রোধ-বিশিষ্ট 2 ভোল্টের সঞ্চয়ক কোষ যুক্ত আছে। 1·5 ভোল্ট-বিশিষ্ট কোষকে পোটেনসিওমিটারের সহিত যুক্ত করিলে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় কর। [A 10-wire potentiometer, in which each wire is uniform and 1 metre long, is driven by an accumulator of e.m.f. 2 volts and of negligible internal resistance. A cell of e.m.f. 1·5 volt is to be balanced on the potentiometer. Find the length of the wire at which the null-point will be obtained.]

উঃ। আমরা জানি, $\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}$.

এখানে $E_1=2V$; $E_2=1{\cdot}5V$; $l_1=1000$ সেমি. এবং $l_2=$?

$\therefore\ l_2=\frac{E_2}{E_1}.\ l_1=\frac{1{\cdot}5}{2{\cdot}0}\times 1000=750$ সেমি.।

2. কোন পোটেনসিওমিটার বর্তনীতে 1·018 ভোল্ট প্রমাণ কোষ যুক্ত করিলে 300 সেমি. দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। অন্য একটি কোষের ক্ষেত্রে নিস্পন্দ দূরত্ব 450 সেমি. হইলে কোষটির তড়িৎ চালক বল কত হইবে? [When a standard cell of 1·018 V is connected to a potentiometer circuit, the balance point is obtained at a distance of 300 cm. When an unknown

cell is connected the distance becomes 450 cm. What will be the e.m.f. of this cell ?]

উঃ। আমরা জানি, $\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}$

$\therefore \quad E_2=\frac{l_2}{l_1}\times E_1=\frac{450}{300}\times 1{\cdot}018=1{\cdot}527$ ভোল্ট।

প্রশ্নাবলী

1. হুইট্ স্টোন ব্রীজের বর্ণনা দাও ও কার্য নীতি ব্যাখ্যা কর। [Describe a Wheat Stone bridge and explain its working principle.]

2. মিটার ব্রীজের বর্ণনা দাও ও উহার কার্য নীতি ব্যাখ্যা কর। পরীক্ষার সময় কি কি সাবধানতা অবলম্বন করা উচিত ? [Describe a Metre bridge and explain its working principle. Discuss the precautions to be adopted during the experiment ?]

3. পোষ্ট-অফিস বক্স কাহাকে বলে ? ইহার সাহায্যে কিভাবে রোধ মাপা যায় তাহা ব্যাখ্যা কর। [What is a Post-office Box ? Explain how a resistance can be measured with its help.]

4. পোটেনসিওমিটারের বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে কিরূপে কোন কোষের তড়িৎ-চালক বল নির্ণয় করিবে ? [Describe a Potentiometer. How will you measure the e.m f. of a cell with its help ?]

5. পোটেনসিওমিটারের সাহায্যে দুইটি কোষের তড়িৎ-চালক বলের তুলনা কিভাবে করিবে ? [How will you compare the e.m.f. of two cells by a potentiometer ?]

6. পোটেনসিওমিটারের সাহায্যে প্রবাহ-মাত্রা কিরূপে নির্ণয় করিবে ? [How will you measure current with the help of a potentiometer ?]

7. A 10-wire potentiometer of resistance 20 ohms is connected to an accumulator of 2 volts through a resistance. If the internal resistance of the accumulator is negligible, then find out the series resistance to be connected in the circuit so as to produce a voltage drop of 1 micro-volt per cm. of the potentiometer wire. [Ans : 39980 ohms.]

8. In a slide wire bridge the wire is 100 cms. long and the standard resistance Rs is 100 ohms ; a balance is obtained at a point 47·15 cm. from the end at which the unknown resistance Rx is connected. On interchanging Rs and Rx the balance point occurs at 52·75 cm. from the same end. Find the value of Rx.

[Ans : 89·385 ohms.]

চতুর্থ অধ্যায়
তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফল
(Heating effects of Current)

4-1. কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘটিলে উহা উত্তপ্ত হইয়া যায়। ইহাকে **তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফল** বলা হয়। শিল্পে এবং আমাদের দৈনন্দিন জীবনে ইহার প্রচুর ব্যবহার আছে। r রোধ-বিশিষ্ট পরিবাহীর প্রান্তদ্বয়ের বিভব বৈষম্য V ধরা হইল।

উহার ভিতর দিয়া t সেকেণ্ডে Q পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হইলে, তড়িৎ যে কাজ (W) করিবে, তাহার পরিমাণ

$$W = VQ \text{ আর্গ}$$
$$= Vit \text{ আর্গ} = i^2rt$$
$$(\because \; V = ir \text{ ওহ্ম সূত্রানুযায়ী})$$

এক্ষেত্রে রাশিগুলি সি. জি. এস্. এককে প্রকাশিত হইয়াছে। তাহারা ব্যবহারিক এককে প্রকাশিত হইলে,

i অ্যাম্পিয়ার $= i \times 10^{-1}$ সি. জি. এস্. একক

এবং r ওহ্ম $= r \times 10^9$ সি. জি. এস্. একক

সুতরাং $W = (i \times 10^{-1})^2 \times r \times 10^9 \times t$ আর্গ

$= i^2rt \times 10^7$ আর্গ

উদ্ভূত তাপের পরিমাণ H এবং জুল তুল্যাংক J হইলে

$$W = J.H$$
$$\therefore \; H = \frac{W}{J} = \frac{i^2rt \times 10^7}{4{\cdot}2 \times 10^7} \text{ ক্যালরি}$$
$$(\because \; J = 4{\cdot}2 \times 10^7 \text{ আর্গ/ক্যালরি})$$
$$= \frac{i^2.r.t}{4{\cdot}2} \text{ ক্যালরি} = 0{\cdot}24\, i^2.rt \text{ ক্যালরি।}$$

4-2. **জুলের সূত্র :** (Joule's Law)

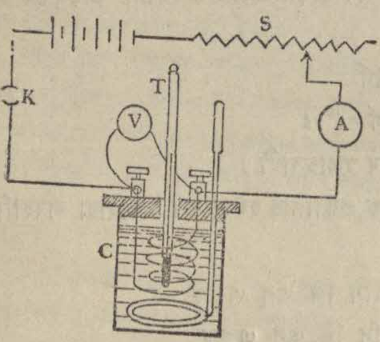
ধর, r রোধ বিশিষ্ট কোন পরিবাহীতে t সেকেণ্ড ধরিয়া i তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। ইহার জন্য যে তাপের উদ্ভব হইবে তাহার নিয়মগুলি 1841 খ্রীষ্টাব্দে ডাঃ জুল সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন। সেইজন্য এই সূত্রগুলিকে **জুলের সূত্র** বলা হয়।

প্রথম সূত্র ঃ রোধ ও সময় অপরিবর্তিত থাকিলে কোন পরিবাহীতে উদ্ভূত তাপ তড়িৎ প্রবাহের বর্গের সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ $H \propto i^2$ যদি r এবং t ধ্রুবক থাকে।

দ্বিতীয় সূত্র ঃ তড়িৎ প্রবাহ ও সময় অপরিবর্তিত থাকিলে উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ $H \propto r$ যদি i এবং t ধ্রুবক থাকে।

তৃতীয় সূত্র ঃ তড়িত প্রবাহ ও রোধ অপরিবর্তিত থাকিলে পরিবাহীতে উদ্ভূত তাপ সময়ের সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ $H \propto t$ যদি i ও r ধ্রুবক থাকে।

4-3. **জুল সূত্রের সত্যতা নিরূপণ** (Verification of Joule's laws) **:** একটি ক্যালরিমিটারে কম আপেক্ষিক তাপবিশিষ্ট কিছু পরিমাণ অপরিবাহী তরল (সাধারণত তার্পিন তেল) রাখিয়া তরলের মধ্যে একটি তারের কুণ্ডলী ডুবাইয়া রাখা হয়। 4ক নং চিত্রের মত বর্তনীটি করিতে হইবে। এখানে K একটি প্লাগ চাবি ; S একটি পরিবর্তনীয় রোধ ; A একটি অ্যাম্‌মিটার ; V একটি ভোল্টমিটার এবং T একটি সুবেদী থার্মোমিটার। তাপের অপচয় বন্ধ করিবার জন্য ক্যালরিমিটারের উপরে কয়েকটি ছিদ্রযুক্ত একটি এবোনাইটের ঢাকনা থাকে। তাছাড়া ক্যালরিমিটারের বাহিরের দিক কুপরিবাহী বস্তু দ্বারা আবৃত রাখা হয়। প্লাগটি বন্ধ করিলে বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে। অ্যাম্‌মিটারের সাহায্যে প্রবাহ মাত্রা এবং ভোল্টমিটারের সাহায্যে তার কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য নির্ণয় করা সম্ভব হইবে। থার্মোমিটারটি তরলের তাপমাত্রা সূচিত করিবে।



চিত্র—4ক

(i) **প্রথম সূত্রের পরীক্ষা ঃ** তরলসহ ক্যালরিমিটারের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা লক্ষ্য করিয়া একটি নির্দিষ্ট সময়ের জন্য (ধর 5 মিনিট) i_1 তড়িৎ-প্রবাহ বর্তনীতে পাঠানো হইল। পরিবর্তনীয় রোধকে উপযুক্ত ভাবে ব্যবহার করিয়া তড়িৎ-প্রবাহকে i_1 মানে নির্দিষ্ট রাখিতে হইবে। এই সময়ে আলোড়কটি বিশেষভাবে নাড়িতে হইবে যাহাতে তরলের তাপমাত্রা সর্বত্র সমান হয়। ধর, নির্দিষ্ট সময়ের পরে তরলের তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিমাণ θ_1° হইল। এইবার তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ করিয়া তরলসহ

ক্যালরিমিটারকে ঠাণ্ডা করা হইল এবং প্রারম্ভিক তাপমাত্রায় আনা হইল। রেওষ্টাটের মান পরিবর্তন করিয়া প্লাগ চাবি দিলে বর্তনীতে আবার তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে। ধর, ইহার পরিমাণ i_2 হইল। i_2 তড়িৎ-প্রবাহ উপরোক্ত নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া বর্তনীতে পাঠাইতে হইবে। ধর এইক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিমাণ $\theta_2°$ হইল। তরলসহ ক্যালরিমিটারের জলসম W এবং উপরোক্ত দুইটি ক্ষেত্রে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1 এবং H_2 হইলে,

$$\frac{H_1}{H_2}=\frac{W\theta_1}{W\theta_2}=\frac{\theta_1}{\theta_2}$$

পরীক্ষার ফল হইতে দেখা যাইবে যে, $\frac{\theta_1}{\theta_2}=\frac{i_1^2}{i_2^2}$

স্থতরাং, $\frac{H_1}{H_2}=\frac{\theta_1}{\theta_2}=\frac{i_1^2}{i_2^2}$

অর্থাৎ, $H \propto i^2$ যদি R এবং t নির্দিষ্ট থাকে।

(ii) **তৃতীয় সূত্রের পরীক্ষা** : উপরের পরীক্ষায় একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ (i) বর্তনীর ভিতর t_1 সময় ধরিয়া পাঠানো হইল। ধর, এইক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিমাণ $\theta_1°$ হইল। এইবার তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ করিয়া তরলসহ ক্যালরিমিটারকে ঠাণ্ডা করিয়া প্রারম্ভিক তাপমাত্রায় আনা হইল। পুনরায় একই পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ (i) বর্তনীর ভিতর দিয়া t_2 সময় ধরিয়া পাঠানো হইল। ধর, এইক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিমাণ $\theta_2°$ হইল। উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1 এবং H_2 হইলে, $\frac{H_1}{H_2}=\frac{\theta_1}{\theta_2}$

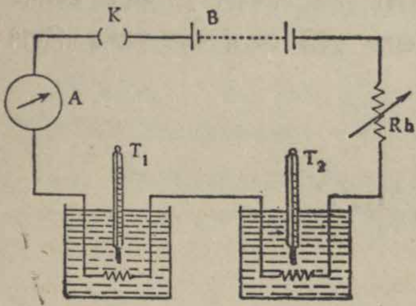
পরীক্ষার ফল হইতে দেখা যাইবে যে, $\frac{\theta_1}{\theta_2}=\frac{t_1}{t_2}$

$$\therefore \frac{H_1}{H_2}=\frac{\theta_1}{\theta_2}=\frac{t_1}{t_2}$$

অর্থাৎ, $H \propto t$ যদি i এবং r অপরিবর্তিত থাকে।

(iii) **দ্বিতীয় সূত্রের পরীক্ষা** : এইক্ষেত্রে বর্তনীটি 4থ নং চিত্রের অনুরূপ করিতে হইবে। ক্যালরিমিটার দুইটি একই উপাদানের এবং একই ভরবিশিষ্ট দুইটি ক্যালরিমিটারের প্রত্যেকটিতে সমপরিমাণ অপরিবাহী তরল (সাধারণত তার্পিন তেল) রাখা আছে। রোধ দুইটি শ্রেণী সমবায়ে আছে এবং উহাদের মান যথাক্রমে r_1 এবং r_2 ধরা হইল।

এইবার, নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ i নির্দিষ্ট সময় (t) ধরিয়া রোধ দুইটির ভিতর চালানো হইল। ধর, ক্যালরিমিটার দুইটিতে উষ্ণতা বৃদ্ধির পরিমাণ যথাক্রমে θ_1° এবং θ_2° হইল। উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1 ও H_2 হইলে এবং তরলসহ প্রত্যেকটি ক্যালরিমিটারে জলসম W হইলে,



চিত্র—4খ

$$\frac{H_1}{H_2}=\frac{W\theta_1}{W\theta_2}=\frac{\theta_1}{\theta_2}$$

পরীক্ষার ফল হইতে দেখা যাইবে যে,

$$\frac{\theta_1}{\theta_2}=\frac{r_1}{r_2}$$

$$\therefore \quad \frac{H_1}{H_2}=\frac{\theta_1}{\theta_2}=\frac{r_1}{r_2}$$

অর্থাৎ $H \propto r$ যখন i এবং t নির্দিষ্ট থাকে।

তার কুণ্ডলী দুইটির রোধের মান ভোল্টমিটার এবং অ্যাম্মিটারের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব।

4-4. জুল-তুল্যাঙ্কের মান নির্ণয় (Determination of value of Joule's equivalent): জুল তুল্যাঙ্কের মান নির্ণয়ের জন্য বর্তনীটি 4ক নং চিত্রের অনুরূপ করিতে হইবে। ক্যালরিমিটারে রাখা অপরিবাহী তরলে রোধ কুণ্ডলীটি ডুবানো আছে। রোধের মান r ধরা হইল। রোধ কুণ্ডলীর ভিতর t সেকেণ্ড ধরিয়া i পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ ঘটানো হইল এবং ক্যালরিমিটারের প্রারম্ভিক এবং অন্তিম তাপমাত্রা সুবেদী থার্মোমিটার T-এর সাহায্যে লক্ষ্য করা হয়।

ধর, M গ্রাম = তরলের ভর

S ,, = তরলের আপেক্ষিক তাপ

$\theta_1^\circ C$ = তরলসহ ক্যালরিমিটারের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা।

$\theta_2^\circ C$ = ,, ,, অন্তিম ,, ।

W গ্রাম = আলোড়কসহ ক্যালরিমিটারের জলসম।

তরলসহ ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $=(MS+W)(\theta_2-\theta_1)$ ক্যালরি।

তড়িৎ প্রবাহের জন্য উদ্ভূত তাপ H হইলে এবং তাপের কোন অপচয় না ঘটিলে

$$H=(MS+W)(\theta_2-\theta_1)$$

কিন্তু জুল সূত্রানুযায়ী $H=\frac{i^2rt\times 10^7}{J}$

$$\therefore\quad (MS+W)(\theta_2-\theta_1)=\frac{i^2rt\times 10^7}{J}$$

বা, $J=\frac{i^2rt\times 10^7}{(MS+W)\ (\theta_2-\theta_1)}$ আর্গ/ক্যালরি

উপরোক্ত সমীকরণ হইতে জুল-তুল্যাঙ্কের মান সহজেই নির্ণয় করা যাইতে পারে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে যে ইহার মান $=4{\cdot}2\times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি।

4-5. তড়িৎ-ক্ষমতা ও শক্তি (Electrical Power and Energy):

তড়িৎ-ক্ষমতা (Electrical power): তড়িৎ-প্রবাহের কাজ করিবার হারকে **তড়িৎ ক্ষমতা** বলে। বিভব-বৈষম্য V এবং তড়িৎ-প্রবাহ i হইলে, তড়িৎ-ক্ষমতার পরিমাণ Vi হইবে। 1 ভোল্ট বিভব-বৈষম্যে 1 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ 1 সেকেণ্ড প্রবাহিত হইলে তড়িৎ-ক্ষমতার পরিমাণ 1 **ওয়াট** (watt) হইবে। ইহা তড়িৎ-ক্ষমতার ব্যবহারিক একক। সুতরাং,

ওয়াটে প্রকাশিত তড়িৎ-ক্ষমতা = ভোল্ট × অ্যাম্পীয়ার।

বৈদ্যুতিক সরবরাহ প্রতিষ্ঠান **কিলোওয়াট** (kilowatt)-কে তড়িৎ-ক্ষমতার একক হিসাবে ব্যবহার করেন। সুতরাং,

$$\text{কিলোওয়াটে প্রকাশিত তড়িৎ-শক্তি}=\frac{\text{ওয়াট}}{1000}=\frac{\text{ভোল্ট}\times\text{অ্যাম্পীয়ার}}{1000}$$

কোন বৈদ্যুতিক বাতির গায়ে 60 w, 220 v লেখা থাকিলে বুঝিতে হইবে যে বাতিটিকে যদি 220 ভোল্ট বর্তনীতে লাগানো হয় তবে তাহার তড়িৎ-ক্ষমতার পরিমাণ 60 ওয়াট হইবে। বাতিটিতে তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ $=\frac{60}{220}=\frac{3}{11}$ অ্যাম্পীয়ার হইবে।

তড়িৎ-শক্তি (Electrical energy): তড়িৎ-প্রবাহের কাজ করিবার ক্ষমতাকে **তড়িৎ-শক্তি** বলা হয়। তড়িৎ-ক্ষমতার পরিমাণ 1 ওয়াট্ হইলে কোন বর্তনীতে 1 সেকেণ্ডে তড়িৎ-শক্তির পরিমাণ 1 জুল্ (Joule) হইবে। 1 জুলের পরিমাণ 10^7 আর্গ।

∴ জুলে প্রকাশিত তড়িৎ-শক্তি = ওয়াট × সেকেণ্ড।

এই একক খুব ছোট হওয়ায় ব্যবহারিক ক্ষেত্রে **ওয়াট-ঘণ্টা** (Watt-hour)-কে তড়িৎ-শক্তির একক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। তড়িৎ-ক্ষমতার পরিমাণ 1 ওয়াট্ হইলে কোন বর্তনীতে 1 ঘণ্টায় তড়িৎ-শক্তির পরিমাণ 1 ওয়াট্-ঘণ্টা হইবে।

∴ ওয়াট-ঘণ্টায় প্রকাশিত তড়িৎ-শক্তি = ওয়াট্ × ঘণ্টা। বিদ্যুৎসরবরাহ প্রতিষ্ঠান তড়িৎ-শক্তির একক হিসাবে কিলোওয়াট্-ঘণ্টা বা B. O. T. একক (Board of Trade Unit সংক্ষেপে B. O. T. U) ব্যবহার করেন।

1 কিলোওয়াট্-ঘণ্টা বা B. O. T. একক = 1000 ওয়াট্-ঘণ্টা।

তড়িৎ-ক্ষমতার পরিমাণ 1 কিলোওয়াট্ হইলে কোন বর্তনীতে 1 ঘণ্টায় তড়িৎ-শক্তির পরিমাণ 1 কিলোওয়াট্-ঘণ্টা হইবে।

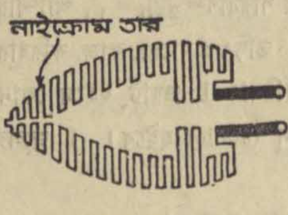
সুতরাং কিলোওয়াট্-ঘণ্টা বা B. O. T. U. এককে প্রকাশিত তড়িৎ-শক্তির

$$\text{পরিমাণ} = \frac{\text{ওয়াট্-ঘণ্টা}}{1000} = \frac{\text{ভোল্ট} \times \text{অ্যাম্পীয়ার} \times \text{ঘণ্টা}}{1000}$$

কিলোওয়াট-ঘণ্টা এককের পরিপ্রেক্ষিতে বৈদ্যুতিক সরবরাহ প্রতিষ্ঠান বিদ্যুতের দাম ধার্য করিয়া থাকেন। বিভিন্ন স্থানে এবং বিভিন্ন ধরনের কাজের জন্য দামের হার বিভিন্ন হয়।

4-6. তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of heating effect of electric current) : আমাদের দৈনন্দিন জীবনে ব্যবহৃত বহু সাজসরঞ্জামের কার্যপ্রণালী তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের উপর নির্ভর করে। উদাহরণ স্বরূপ বৈদ্যুতিক হিটার, বৈদ্যুতিক ইস্ত্রি, বৈদ্যুতিক বাতি, ফিউজ্ ইত্যাদির কার্যপ্রণালী তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের উপর নির্ভরশীল।

(*a*) **বৈদ্যুতিক হিটার** (Electric heaters) : রোধের ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে উহা উত্তপ্ত হয়। এই নীতির উপর বৈদ্যুতিক হিটার, বৈদ্যুতিক ইস্ত্রী (চিত্র 4গ (i—ii), বৈদ্যুতিক কেটলী, পাঁউরুটি সেঁকিবার যন্ত্র, বৈদ্যুতিক চুল্লী, বিকারক



চিত্র—4গ (i)

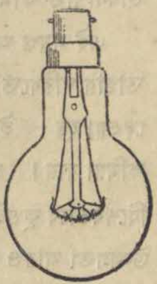

চিত্র—4গ (ii)

(radiator) প্রভৃতি যন্ত্রপাতির কার্যপ্রণালী নির্ভর করে। এই সমস্ত যন্ত্রে সাধারণত একটি তাপসহ দ্রব্যের (যথা ফায়ার-ক্লে বা অভ্রের) তৈয়ারী ফ্রেমের উপর তারের কুণ্ডলী জড়ানো থাকে। তারটি সাধারণত নিকেল, লোহা ও ক্রোমিয়াম দিয়া প্রস্তুত

নাইক্রোম (Nichrome) সংকর ধাতুর তৈয়ারী। নাইক্রোম তারের বিশেষত্ব এই যে ইহার আপেক্ষিক রোধাঙ্ক খুব বেশী এবং ইহা সহজে গলিয়া যায় না। তারটির ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে উহা উত্তপ্ত হয় এবং উদ্ভূত তাপকে বিভিন্ন কাজে লাগানো যায়।

(*b*) **বৈদ্যুতিক চুল্লী** (Electric furnace) :—ফলিত বিজ্ঞানে বৈদ্যুতিক চুল্লীর বহুল প্রচলন আছে। এই ধরনের চুল্লী কতকগুলি ধাতু নিষ্কাশনের কাজে ব্যবহৃত হয়। তাছাড়া আরও বহু কাজে ইহাদের ব্যবহার দেখা যায়। এই ধরনের চুল্লীতে নাইক্রোম বা মলিবডেনাম (molybdenum)-এর রোধকুণ্ডলী সমান্তরাল সমবায়ে থাকে। রোধকুণ্ডলীগুলি সিলিকা (silica) চোঙের উপর জড়ানো থাকে এবং চোঙগুলি তাপসহ ফায়ার-ক্লে দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে। তড়িৎ সরবরাহের সহিত রোধকুণ্ডলীগুলিকে যোগ করিলে বিদ্যুৎপ্রবাহ ঘটে এবং তাপ উদ্ভূত হয়। রেওষ্টাটের সাহায্যে বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ কমানো বা বাড়ানো যাইতে পারে। এই ধরনের চুল্লীতে তাপমাত্রা 1000°C-এর বেশী হইয়া থাকে।

(c) **বৈদ্যুতিক বাতি** (Electric lamps) : তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগের প্রকৃষ্ট উদাহরণ হিসাবে বৈদ্যুতিক বাতির নাম করা যাইতে পারে। বাজারে বহু ধরনের বাতি প্রচলিত আছে। যথা, কার্বন বাতি, বায়ুশূন্য বৈদ্যুতিক বাতি, নিষ্ক্রিয় গ্যাসপূর্ণ বাতি ইত্যাদি। প্রত্যেকটি বাতিতে একটি কাচের গোলক আছে এবং গোলকের ভিতরে একটি রোধকুণ্ডলী থাকে। ইহাকে সাধারণত ফিলামেণ্ট (filament) বলা হয়। পরিবাহী ফিলামেণ্টটি খুব সরু এবং উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট। ইহার ফলে উহার ভিতর তীব্র তড়িৎ-প্রবাহ প্রেরণ করা সম্ভব। তড়িৎ-প্রবাহের জন্য তাপ উদ্ভূত হয়। ফলে ফিলামেণ্টটি প্রথমে শুভ্র তপ্ত (white hot) এবং পরে ভাস্বর (incandescent) হইয়া উঠে এবং তাপবিকিরণ করে। যেহেতু বৈদ্যুতিক শক্তি আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে সেইজন্য এই আলোককে বৈদ্যুতিক আলোক বলা হয়।



চিত্র—4ব

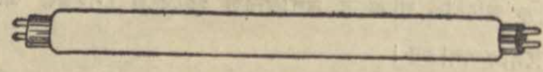
বায়ুশূন্য কাচের গোলকের ভিতর কার্বনের সরু তার ফিলামেণ্ট হিসাবে ব্যবহৃত হইলে সেই বাতিকে **কার্বন বাতি** বলা হয়। বিখ্যাত বৈজ্ঞানিক এডিসন্ (Edison) এবং সোয়ান (Swan) 1880 খ্রীষ্টাব্দে কার্বন বাতি আবিষ্কার করেন। তাঁহাদের উভয়ের নামানুসারে এই-বাতিকে এডিসোয়ান বাতি বলা হইত। ফিলামেণ্টের ভিতর

তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে তাপ উদ্ভূত হয় এবং উহা ভাস্বর হইয়া আলোক বিকিরণ করে। গোলকটির ভিতরে কোন বায়ু থাকিলে চলিবে না কারণ উচ্চ তাপমাত্রায় কার্বনের সহিত অক্সিজেনের রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটিবে। কার্বন বাতির অসুবিধা এই যে ইহা হইতে বিকিরিত আলোক পীতাভ ধরনের হয় এবং ক্রমাগত ব্যবহারের জন্য কিছু কিছু কার্বন কণা গোলকের ভিতরে জমিয়া গাত্রকে অস্বচ্ছ করিয়া দেয়। তাছাড়া তাপমাত্রার সহিত কার্বনের রোধ পরিবর্তিত হয়। সেইজন্য বিভব-প্রভেদ সামান্য পরিবর্তিত হইলেও বাতিটির উজ্জ্বলতা বিশেষ পরিমাণ হ্রাসবৃদ্ধি পায়। ইহার জন্য মনে হয় বাতির আলো যেন কাঁপিতেছে।

এই সমস্ত অসুবিধার জন্য কার্বন ফিলামেণ্টের বদলে টাংস্টেনের ফিলামেণ্ট ব্যবহৃত হয়। এই ধরনের বাতিকে **টাংস্টেন বাতি** বলে এবং তড়িৎ-প্রবাহের ফলে ইহার তাপমাত্রা প্রায় 2700°C হইয়া থাকে। তাপমাত্রা বেশী হওয়ার জন্য এই ধরনের বাতির উজ্জ্বলতা অনেক বেশী। কিন্তু টাংস্টেন বাতির তাপমাত্রা বেশী হওয়ায় টাংস্টেন বাষ্পীভূত হইতে থাকে এবং গোলকের ভিতর পৃষ্ঠে জমিয়া কালো করিয়া দেয়। তাছাড়া, ক্রমাগত টাংস্টেন নির্গমনের ফলে তারটি সরু হয় এবং উহার জীবনীশক্তি কমিয়া যায়।

এই সমস্ত অসুবিধা দূর করার জন্য বর্তমানে গোলকটিকে বায়ুশূন্য রাখা হয় না। তাহার পরিবর্তে গোলকের ভিতরে কোন নিষ্ক্রিয় গ্যাস যথা, আর্গন ইত্যাদি ভরিয়া দেওয়া হয়। ইহার ফলে ফিলামেণ্ট হইতে টাংস্টেনের যে বাষ্পায়ন ঘটে তাহার হার কমিয়া যায়। তাছাড়া আর একটি বিশেষ কারণের জন্য সোজা তারের পরিবর্তে বিশেষভাবে কুণ্ডলীত (coiled coil) টাংস্টেন তার ব্যবহৃত হয়। ইহার ফলে উজ্জ্বলতা আরও বাড়িয়া যায়। 4ঘ নং চিত্রে এই ধরনের একটি বাতি দেখান হইল।

আজকাল আর এক ধরনের বাতি (চিত্র 4ঙ) বহুল পরিমাণ ব্যবহৃত হইতেছে। তাহার নাম **ফ্লোরেসেণ্ট বাতি** (Fluorescent lamp)। ইহাতে একটি লম্বা



চিত্র—4ঙ

কাচের নল থাকে এবং নলের ভিতরদিকে ফ্লোরেসেণ্ট রংয়ের প্রলেপ দেওয়া হয়। নলের দুই প্রান্তে দুইটি কুণ্ডলীকৃত তার বায়ুনিরুদ্ধভাবে ঢুকাইয়া দেওয়া হয়। উহারা তড়িৎ-দ্বার (electrode)-এর কাজ করে। নলের ভিতর খুব অল্প পরিমাণ পারদ এবং

অল্পচাপের আর্গন বা নাইট্রোজেন গ্যাস থাকে। বাতিটিকে উপযুক্তভাবে বিদ্যুৎ-সরবরাহ প্লাগের সহিত যুক্ত করিলে তড়িৎ-দ্বার দুইটি গরম হইয়া পারদ বাষ্পের সৃষ্টি করে এবং পারদ বাষ্পের ভিতর দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ (electric discharge) ঘটিতে থাকে, ইহার ফলে আলোক উৎপন্ন হয়। ফ্লোরেসেণ্ট প্রলেপের রংয়ের উপর বিকিরিত আলোকের রং নির্ভর করিবে।

এই ধরনের বাতির বিশেষ সুবিধা এই যে ইহা হইতে নির্গত আলো অনেকটা দিনের আলোর মত এবং ইহা খুব অল্প ছায়ার সৃষ্টি করে। তাছাড়া এই ধরনের বাতি অনেকদিন টেকে এবং বিদ্যুৎ-খরচও কম। এইসব কারণে ফ্যাক্টরীতে, হাসপাতালে, স্কুল-কলেজে ফ্লোরেসেণ্ট বাতি ব্যবহৃত হয়। আজকাল বাড়িতেও ইহার ব্যবহার বাড়িয়া গিয়াছে।

(d) **ফিউজ** (Fuse): অসাবধানতা বা আকস্মিক দুর্ঘটনার জন্য বাড়ির বৈদ্যুতিক লাইনের দুই প্রান্ত যদি যুক্ত হইয়া যায় তাহা হইলে বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ ভীষণভাবে বাড়িয়া যাইবে। ফলে বৈদ্যুতিক সাজসরঞ্জাম বিনষ্ট হইয়া যাইতে পারে এবং অগ্নিকাণ্ডও ঘটিতে পারে। এই সমস্ত দুর্ঘটনা হইতে কোন বর্তনীকে রক্ষা করিবার জন্য ফিউজ তার ব্যবহৃত হয়।

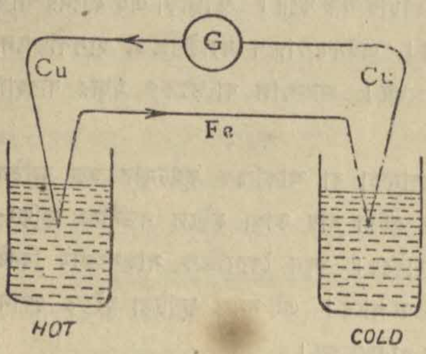
ফিউজ তার সাধারণত টিন ও সীসা মিশ্রিত সংকর ধাতুর তৈয়ারী এবং আকারে সরু হয়। ফিউজ তারটি বাড়ীর বৈদ্যুতিক লাইনের সহিত শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে থাকে এবং উহা একটি নির্দিষ্ট সর্বোচ্চ পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ বহন করিতে পারে। ফিউজ তারের গলনাঙ্ক কম বলিয়া তড়িৎ-প্রবাহ নির্দিষ্ট সীমার বেশী হইলে তারটি উত্তপ্ত হইয়া গলিয়া যাইবে এবং বৈদ্যুতিক সাজসরঞ্জাম সহ বাড়ির লাইনকে বৈদ্যুতিক মেইনস্ হইতে বিছিন্ন করিয়া দিবে। ফলে দুর্ঘটনা হইতে লাইনটি রক্ষা পাইবে।

বিভিন্ন কাজের জন্য বিভিন্ন আকারের ফিউজ তার ব্যবহৃত হয়। 5-অ্যামপীয়ার ফিউজ বলিতে ইহাই বুঝাইবে যে উহার ভিতর দিয়া 5 অ্যামপীয়ারের বেশী তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে তারটি গলিয়া যাইবে। কোন বর্তনীতে 5 অ্যামপীয়ার ফিউজ থাকিলে বর্তনীতে সাধারণভাবে প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের সর্বোচ্চ মান 5 অ্যামপীয়ারের কম হইতে হইবে।

ফিউজ তারটি একটি চিনামাটির বাক্স (porcelain box)-এ স্ক্রুর সহিত আটকানো থাকে। এই বাক্সটিকে মূল বর্তনীতে রাখা একটি হোল্ডারের ভিতর চাপিয়া দিলে ফিউজ তারটি বর্তনীর শ্রেণী সমবায়ে থাকিবে এবং সুইচ দিলে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে।

ফিউজ তার গলিয়া গেলে উহাকে সরাইয়া তাহার জায়গায় আর একটি ভাল ফিউজ তার লাগাইতে হইবে। কিন্তু যে দোষের জন্য ফিউজ গলিয়া গিয়াছিল তাহা বিদূরিত হওয়া প্রয়োজন।

4-7. সীবেক ক্রিয়া (Seebeck effect) : 1821 খ্রীষ্টাব্দে সীবেক লক্ষ্য করেন যে, দুইটি বিভিন্ন ধাতব তারের দুইপ্রান্তকে যুক্ত করিয়া সংযোগস্থল দুইটিকে বিভিন্ন তাপমাত্রায় রাখিলে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতেছে। এই ধরনের ঘটনাকে **সীবেক ক্রিয়া** বলা হয়। উপরের পরীক্ষায় বিভিন্ন ধাতুর তারের বদলে দণ্ড বা পাত লইয়া পরীক্ষাটি করিলেও একই ফল পাওয়া যাইবে। দুইটি বিভিন্ন ধাতু যুক্ত হইয়া সংহত বর্তনী তৈয়ারী করিলে ধাতুযুগ্মকে **তাপ-যুগ্ম** (Thermo-couple) বলে এবং তাপযুগ্মের সংযোগস্থল দুইটিকে বিভিন্ন তাপমাত্রায় রাখিলে বর্তনীতে যে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব ঘটিবে তাহাকে **তাপীয় তড়িচ্চালক বল** (Thermo-e. m. f.) বলা হয়। ধাতু-যুগ্মের প্রকৃতির উপর এবং সংযোগ স্থল দুইটির তাপমাত্রার ব্যবধানের উপর তাপীয় তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ নির্ভর করিবে। তাপীয় তড়িচ্চালক বলের জন্য বর্তনীতে যে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটে তাহাকে **তাপ-তড়িৎপ্রবাহ** (Themo-electric current) বলা হয়। অ্যান্টিমনি ও বিস্মাথ দ্বারা গঠিত তাপযুগ্মের সংযোগ-স্থল দুইটিকে বিভিন্ন তাপমাত্রায় রাখিলে অ্যান্টিমনি হইতে শীতল প্রান্ত (cold junction) দিয়া বিস্মাথে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। 4চ নং চিত্রে তামা ও লোহার একটি ধাতু-যুগ্ম দেখান হইয়াছে। এইক্ষেত্রে উত্তপ্ত প্রান্ত (hot junction) দিয়া তামা হইতে লোহাতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে।



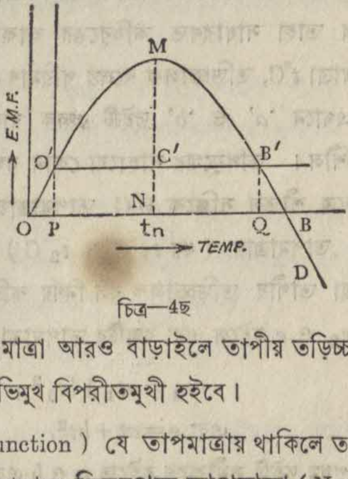
চিত্র—4চ

তাপযুগ্মের সংযোগস্থল দুইটির তাপমাত্রা বিভিন্ন কিন্তু অপরিবর্তিত থাকিলে তাপীয় তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ এবং অভিমুখ ধাতু দুইটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করিবে। সীবেক বিভিন্ন ধাতু যুগ্মকে লইয়া পরীক্ষা নিরীক্ষা করেন এবং ধাতুগুলির একটি সারণী প্রস্তুত করেন। এই সারণীকে বলা হয় **সীবেক সারণী** বা **তাপ-তড়িৎ সারণী**

(Thermo-electric series)। সারণীর যে কোন দুইটি ধাতু দ্বারা গঠিত তাপযুগ্মের প্রথম ধাতু হইতে শীতল প্রান্ত দিয়া পরবর্তী ধাতুতে তাপ-তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। সীবেক সারণী হইতে কয়েকটি ধাতব পদার্থের নাম নিম্নে দেওয়া হইল :—

সেলেনিয়াম, অ্যান্টিমনি, লোহা, দস্তা, টিন, তামা, রূপা, প্ল্যাটিনাম, সোনা, সীসা, পারদ, প্ল্যাটিনাম-নিকেল, কন্স্ট্যান্টান, বিসমাথ।

4-৪. **তাপমাত্রার সহিত তাপ তড়িচ্চালক বলের পরিবর্তন** (Variation of Thermo-e.m.f. with temperature) : তাপযুগ্মের একটি প্রান্তকে 0°C তাপমাত্রায় রাখিয়া অন্যপ্রান্তের তাপমাত্রাকে ক্রমশ বাড়াইতে থাকিলে দেখা যাইবে যে, তাপ-তড়িচ্চালক বলও ক্রমশ বাড়িতেছে এবং নির্দিষ্ট সর্বোচ্চ মান লাভ করিবার পর আবার কমিয়া যাইতেছে (চিত্র 4ছ)। তাপমাত্রা আরও বাড়াইলে তড়িচ্চালক বল কমিতে থাকিবে এবং একটি বিশেষ তাপমাত্রায় উহা শূন্য হইয়া যাইবে। তাপমাত্রা আরও বাড়াইলে তাপীয় তড়িচ্চালক বল আবার বাড়িতে থাকিবে কিন্তু উহার অভিমুখ বিপরীতমুখী হইবে।



চিত্র—4ছ

কোন তাপযুগ্মের উষ্ণ-সন্ধি (hot-junction) যে তাপমাত্রায় থাকিলে তাপীয় তড়িচ্চালক বল সর্বোচ্চ হইবে সেই তাপমাত্রাকে **নিরপেক্ষ তাপমাত্রা** (Neutral temperature) বলা হয়। উল্লিখিত চিত্রে N বিন্দুটি নিরপেক্ষ তাপমাত্রা (t_n) সূচিত করিতেছে। নির্দিষ্ট তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে নিরপেক্ষ তাপমাত্রার মান নির্দিষ্ট এবং ইহার মান শীতল-সন্ধির তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না। উদাহরণ স্বরূপ, লোহা-তামা তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা 270°C। এইক্ষেত্রে শীতল-সন্ধি যে-কোন তাপমাত্রাতেই থাকুক না কেন উষ্ণ সন্ধির তাপমাত্রা 270°C হইলে তাপীয় তড়িচ্চালক বল সর্বোচ্চ হইবে এবং তাপমাত্রা আরও বাড়াইলে তড়িচ্চালক বল কমিতে থাকিবে। অবশ্য মনে রাখিতে হইবে যে, সর্বোচ্চ তড়িচ্চালক বলের মোট পরিমাণ সন্ধি দুইটির তাপমাত্রার পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল। তাপযুগ্মের যে তাপমাত্রায় তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ পরিবর্তিত হয় সেই তাপমাত্রাকে ঐ যুগ্মের **উৎক্রম তাপমাত্রা** (Temperature of inversion) বলা হয়। উল্লিখিত চিত্রে শীতল-সন্ধির তাপমাত্রা

O বিন্দু দ্বারা সূচিত হইলে, B বিন্দুটি উৎক্রম তাপমাত্রা সূচিত করিবে। কিন্তু শীতল-সন্ধির তাপমাত্রা O′ হইলে, B′ বিন্দুটি উৎক্রম তাপমাত্রা সূচিত করিবে। সুতরাং, কোন তাপযুগ্মের উৎক্রম তাপমাত্রা উহার শীতল-সন্ধির তাপমাত্রার উপরও নির্ভরশীল। শীতল-সন্ধির তাপমাত্রা (t_1) নিরপেক্ষ তাপমাত্রা (t_n) অপেক্ষা যত কম হইবে, উৎক্রম তাপমাত্রা (t_2) নিরপেক্ষ তাপমাত্রা অপেক্ষা ততটা বেশী হইবে।

অর্থাৎ, $t_n - t_1 = t_2 - t_n$ বা, $t_n = (t_1 + t_3)/2$

কোন তাপযুগ্মের শীতল সন্ধিকে 0°C-এ রাখিয়া উষ্ণ সন্ধির বিভিন্ন তাপমাত্রায় তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করিলে তাপমাত্রা তড়িচ্চালক বলের যে লেখ চিত্র পাওয়া যাইবে তাহা সাধারণত অধিবৃত্তের আকার ধারণ করিয়া থাকে। উষ্ণ সন্ধির তাপমাত্রা t°C, তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ e হইলে আমরা পাই, $e = at + bt^2$

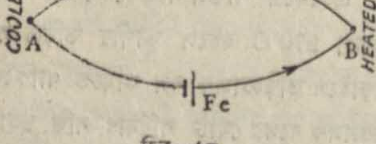
এখানে 'a' ও 'b' দুইটি ধ্রুবক যাহাদের মান তাপযুগ্মের ধাতু দুইটির উপর নির্ভরশীল। তাপযুগ্মের সাহায্যে কোন বস্তুর তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে মাপা যায়। সেক্ষেত্রে শীতল সন্ধিকে 0°C তাপমাত্রায় রাখিয়া উষ্ণ সন্ধিটিকে যথাক্রমে দুইটি জানা তাপমাত্রায় (ধর t_1°C ও t_2°C) রাখিয়া এবং তারপরে বস্তুটির সংস্পর্শে রাখিয়া তাপীয় তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করিতে হইবে। তাহাদের পরিমাণ যথাক্রমে e_1, e_2 ও e হইলে এবং বস্তুটির তাপমাত্রা t°C হইলে আমরা পাই,

$$e_1 = at_1 + bt_1^2 \ ; \ e_2 = at_2 + bt_2^2$$

এবং $e = at + bt^2$.

প্রথম দুইটি সমীকরণ হইতে a ও b-এর মান বাহির করিয়া তৃতীয় সমীকরণ হইতে t-এর মান সহজেই বাহির করা যাইবে।

4-9. পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া (Peltier effect) : 1834 খ্রীষ্টাব্দে পেল্‌টিয়ার লক্ষ্য করেন যে, কোন ধাতুযুগ্মের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটাইলে উহার একটি সন্ধি গরম এবং অপরটি ঠাণ্ডা হইয়া যায়। এই ধরনের ঘটনাকে **পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া** বলে। তাপযুগ্মের কোন্ সন্ধিটি গরম অথবা ঠাণ্ডা হইবে তাহা তাপযুগ্মের ধাতু দুইটির উপর এবং তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভরশীল। তা'ছাড়া সন্ধি দুইটি কতটা গরম বা কতটা ঠাণ্ডা হইবে তাহার পরিমাণ ধাতু দুইটির



চিত্র—4ল

উপর এবং তড়িৎপ্রবাহের মাত্রার উপর নির্ভর করিবে। লোহা এবং তামার ধাতুযুগ্মের ভিতর দিয়া চিত্রে প্রদর্শিত অভিমুখে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে A সন্ধিটি ঠাণ্ডা এবং B সন্ধিটি গরম হইয়া যাইবে (চিত্র 4জ)। তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীতমুখী হইলে A সন্ধিটি গরম এবং B সন্ধিটি শীতল হইবে।

সীবেক ক্রিয়ার জন্য কোন ধাতুযুগ্মের সন্ধি যুগল বিভিন্ন তাপমাত্রায় থাকিলে উহার ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। কিন্তু পেল্‌টিয়ার ক্রিয়ায়, কোন তাপযুগ্মের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে উহার সন্ধি-যুগলের তাপমাত্রা বিভিন্ন হইয়া যাইবে। সুতরাং পেল্‌টিয়ার ক্রিয়াকে সীবেক ক্রিয়ার বিপরীত ঘটনা বলা হয়।

4-10. পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া ও জুল-ক্রিয়ার পার্থক্য (Distinction between Peltier effect and Joule's effect):

(i) জুল ক্রিয়াতে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহের বর্গের সহিত সমানুপাতিক ; কিন্তু পেল্‌টিয়ার ক্রিয়াতে উদ্ভূত বা শোষিত তাপের পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহের সমানুপাতিক।

(ii) পেল্‌টিয়ার ক্রিয়াতে কোন্ সন্ধিটি শীতল বা উষ্ণ হইবে তাহা তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভরশীল। কিন্তু জুল ক্রিয়াতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করিলেও পরিবাহীটি শীতল হইবে না কিন্তু উত্তপ্তই থাকিবে।

(iii) পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক (Reversible) ; কিন্তু জুল-ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক নহে।

(iv) পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া তাপযুগ্মের কেবলমাত্র সন্ধি স্থলেই সীমাবদ্ধ থাকে কিন্তু জুল-ক্রিয়া পরিবাহীর সর্বত্রই দেখা যায়।

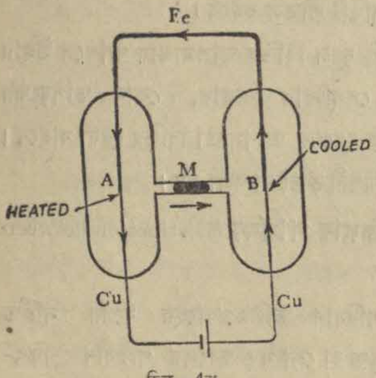
(v) জুল-ক্রিয়াতে কেবলমাত্র তাপের উদ্ভব হইয়া থাকে ; কিন্তু পেল্‌টিয়ার ক্রিয়ায় একই সঙ্গে তাপের উদ্ভব ও শোষণ দেখা যায়।

(vi) জুল-ক্রিয়া পরিবাহীর রোধের উপর নির্ভরশীল ; কিন্তু পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া পরিবাহীর রোধের উপর নির্ভর করে না।

4-11. পেল্‌টিয়ার ক্রিয়ার পরীক্ষামূলক প্রদর্শন (Experimental demonstration of Peltier effect):

4ঝ নং চিত্রে পরীক্ষাটি দেখান হইয়াছে। লোহা এবং তামার তৈয়ারী তাপযুগ্মের সন্ধিযুগল A ও B-কে H আকৃতি-বিশিষ্ট বদ্ধ কাচের নলের ভিতর রাখা হইয়াছে। কাচপাত্রের সংযোগ নলে সামান্য পরিমাণ পারদ (M) রাখা হয় এবং ইহা সূচক

হিসাবে কাজ করে। ব্যাটারীর সাহায্যে তাপযুগ্মে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে দেখা যাইবে যে পারদ সূচকটি ডানদিকে সরিয়া যাইতেছে। ইহার কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে যে, চিত্রানুযায়ী তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে A সন্ধিটির তাপমাত্রা বাড়িবে এবং B সন্ধিটির তাপমাত্রা কমিয়া যাইবে। ইহার ফলে কাচনলের বামদিকের অংশে অবস্থিত বায়ুর চাপ অপেক্ষাকৃত ভাবে বাড়িয়া যাইবে এবং পারদ সূচকটিকে ডানদিকে ঠেলিয়া দিবে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, তাপযুগ্মের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে সন্ধিযুগলের মধ্যে তাপমাত্রার পার্থক্য দেখা দেয়। তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করিলে পারদ সূচকটিকে বাঁদিকে সরিয়া যাইতে দেখা যাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে, এইক্ষেত্রে B সন্ধিটি উত্তপ্ত এবং A সন্ধিটি শীতল হইয়াছে। সুতরাং পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখের উপরেও নির্ভরশীল।



চিত্র—4ঋ

বিভিন্ন ধাতুযুগ্ম এবং বিভিন্ন প্রবাহমাত্রায় পরীক্ষাটি করিলে সূচকটির সরিয়া যাওয়ার পরিমাণ বিভিন্ন হইবে। সুতরাং উপরের পরীক্ষাগুলি প্রমাণ করে যে, (i) তাপযুগ্মের কোন্ সন্ধিটি গরম বা ঠাণ্ডা হইবে তাহা ধাতু দুইটির উপর এবং প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভরশীল। (ii) পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া বিভিন্ন তাপযুগ্মের জন্য বিভিন্ন। (iii) পেলটিয়ার ক্রিয়ার পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহের মাত্রার উপরেও নির্ভরশীল।

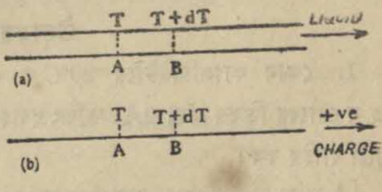
4-12. টমসন ক্রিয়া (Thomson effect) : 1856 খ্রীষ্টাব্দে টমসন বলেন যে, অসমভাবে উত্তপ্ত কোন সমসত্ত্ব পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে পরিবাহী বরাবর তাপ শোষিত বা নির্গত হইবে। তড়িৎপ্রবাহকে বিপরীতমুখী করিলে এই ফলও বিপরীত ধরনের হইবে। ইহাই **টমসন ক্রিয়া**। টমসন তত্ত্বগতভাবে (theoretically) উপরের সিদ্ধান্তে উপনীত হন। টমসন ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক (Reversible)।

টমসন ক্রিয়া ব্যাখ্যা করিবার জন্য আমরা বলিতে পারি যে, কোন পরিবাহীর বিভিন্ন অংশ বিভিন্ন তাপমাত্রায় থাকিলে ঐ পরিবাহী বরাবর একটি তড়িচ্চালক বল কাজ করে। তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ পরিবাহীর প্রকৃতির উপর এবং তড়িচ্চালক

বলের পরিমাণ পরিবাহীর প্রকৃতি ও তাপমাত্রার পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল। যে সমস্ত ধাতুতে উল্লিখিত তড়িচ্চালক বল নিম্নতর তাপমাত্রা হইতে উচ্চতর তাপমাত্রা অভিমুখে কাজ করে সেই সমস্ত ধাতুর টমসন ক্রিয়া ধনাত্মক বলা হয়। ইহাদের উদাহরণ হিসাবে *Cu, Sb, Ag, Cd, Zn* ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। কিন্তু যে সমস্ত ধাতুতে উল্লিখিত তড়িচ্চালক বল উচ্চতর তাপমাত্রা হইতে নিম্নতর তাপমাত্রা অভিমুখে কাজ করে, সেই সমস্ত ধাতুর টমসন ক্রিয়ায় ঋণাত্মক বলা হয়। *Fe, Pt, Bi, Co, Ni, Hg* ইত্যাদির টমসন ক্রিয়া ঋণাত্মক। সীসার ক্ষেত্রে টমসন ক্রিয়া প্রায় শূন্য এবং এই কারণেই তাপ-তড়িৎ সংক্রান্ত পরীক্ষায় সীসাকে প্রমাণ ধাতু হিসাবে ব্যবহার করা হইয়া থাকে।

কোন পরিবাহীর দুইটি বিন্দুর মধ্যে তাপমাত্রার পার্থক্য 1°C হইলে, টমসম ক্রিয়ার জন্য ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে যে তড়িচ্চালক বল ক্রিয়া করিবে তাহাকে **টমসন গুণাঙ্ক** (Thomson co-efficient) বলা হয়। ইহাকে সাধারণতঃ σ অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হইয়া থাকে।

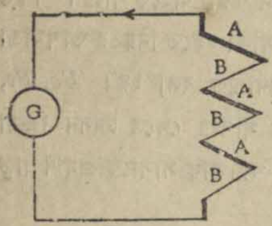
4-13. টমসন ক্রিয়ার পরীক্ষামূলক-প্রদর্শন (experimental demonstration of Thomson effeet): মোটা ধাতব দণ্ড AB-এর দুই প্রান্তকে যথাক্রমে 0°C এবং 100°C-এ রাখা হইল এবং মনে কর C-বিন্দুর তাপমাত্রা 50°C (চিত্র 4ঞ)। ব্যাটারী হইতে নির্দিষ্ট অভিমুখে দণ্ডটির ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে দেখা যাইবে যে, C-বিন্দুর অবস্থান পরিবর্তিত হইয়াছে। মনে কর এই অবস্থায় C_1 বিন্দুর তাপমাত্রা 50°C হইল। তড়িৎপ্রবাহকে বিপরীতমুখী করিলে C-এর অবস্থান বিপরীত দিকে (মনে কর, C_2 বিন্দুতে) সরিয়া যাইবে। মোটা দণ্ডের রোধ খুব কম বলিয়া জুল-ক্রিয়া নগণ্য হইবে। তা' ছাড়া জুল ক্রিয়া তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভর করে না। সুতরাং C-বিন্দুর অবস্থানের পরিবর্তন টমসন ক্রিয়ার জন্যই সম্ভব হইয়াছে। এই পরীক্ষা আরও প্রমাণ করে যে, টমসন ক্রিয়া একটি প্রত্যাবর্তক ঘটনা।



চিত্র—4ঞ

4-14. থার্মোপাইল (Thermopile): তাপযুগ্মের সন্ধিযুগল বিভিন্ন তাপমাত্রায় থাকিলে উহার ভিতরে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। নির্দিষ্ট তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহের

মাত্রা সন্ধিযুগলের তাপমাত্রার পার্থক্যের উপর নির্ভর করিবে। তাপযুগ্মের এই নীতি থার্মোপাইলে কাজে লাগান হয়। থার্মোপাইলের সাহায্যে বিকীর্ণ তাপের তীব্রতা মাপা যায়। A ও B ধাতু দ্বারা তৈয়ারী কয়েকটি তাপযুগ্মকে শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ে রাখিয়া সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার G-এর সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 4ট)। বিকীর্ণ তাপকে তাপযুগ্মগুলির বাহির সন্ধিগুলির উপর ফেলা হয় এবং ভিতরের দিকের সন্ধিগুলিকে বিকিরণ হইতে আড়াল করিয়া রাখা হয়। বাহিরের দিকে অবস্থিত সন্ধিগুলিতে বিকীর্ণ তাপ আপতিত হওয়ার জন্য উহাদের তাপমাত্রা বাড়িয়া যাইবে এবং সীবেক ক্রিয়ার জন্য তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হইবে। নিদিষ্ট থার্মোপাইলের ক্ষেত্রে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা বিকীর্ণ তাপের তীব্রতার উপরে নির্ভর করিবে। সুতরাং গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ হইতে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা নির্ণয় করিয়া বিকীর্ণ তাপের তীব্রতা পরিমাপ করা সম্ভব। থার্মোপাইলে সাধারণতঃ অ্যান্টিমনি ও বিসমাথের তারযুগ্ম ব্যবহৃত হইয়া থাকে।



চিত্র—4ট

উদাহরণ

1. কোন ক্যালরিমিটারে 20°C-এ একলিটার জল আছে। উহার মধ্যে 8 ওহ্‌ম রোধের ভিতর দিয়া 2A তড়িৎপ্রবাহ 10 মিনিট প্রবাহিত হইলে জলের অন্তিম মাত্রা বাহির কর।

[A wire of 8 ohms resistance is immersed in a calorimeter containing one litre of water at 20°C. If a current of 2 amperes passes through the wire for 10 minutes, find the final temperature.]

উ। উদ্ভূত তাপের পরিমাণ $=\frac{i^2rt}{J}=\frac{5^2\times 8\times 10\times 60}{4\cdot 2}$ ক্যালরি

জলের ভর = 1000 গ্রাম

তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিমাণ θ°C হইলে 1000 গ্রাম জল কর্তৃক গৃহীত তাপ = 1000θ ক্যালরি।

কোনরূপ তাপের অপচয় না ঘটিলে, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$\therefore\ 1000\,\theta=\frac{5^2\times 8\times 10\times 60}{4\cdot 2}$$

$$বা,\ \theta=\frac{5^2\times 8\times 10\times 60}{4{\cdot}2\times 1000}=28{\cdot}6^\circ C$$

সুতরাং, অন্তিম তাপমাত্রা $=20+28{\cdot}6^\circ C=48{\cdot}6^\circ C$.

2. $5A-250V$ হিটার $4\times 5\times 3$ ঘনমিটার আয়তনের ঘরের বায়ুকে গরম করে। কতক্ষণ সময়ে উহার তাপমাত্রা $10^\circ C$ বৃদ্ধি পাইবে ? বায়ুর ঘনত্ব $=0{\cdot}00129$ গ্রাম/সি. সি. ; স্থিরচাপে বায়ুর আঃ তাঃ $=0{\cdot}24$ এবং $J=4{\cdot}2$ জুল/ক্যালরি।

[How long will it take to raise the temperature of air in a room $4\times 5\times 3$ metres through 10°C by means of an electric heater taking 5 amperes from a 250 volt mains, assuming no heat loss ? Density of air $=0{\cdot}00129$ gm./c.c. ; specific heat of air at constant pressure $=0{\cdot}24$. Joule's equivalent $=4{\cdot}2$ Joules/cal.]

উ। বাড়ীটির মধ্যে অবস্থিত বায়ুর পরিমাণ,

$$m=4\times 5\times 3\times 10^6\times 0{\cdot}00129 \text{ গ্রাম}$$

প্রয়োজনীয় তাপ $=m.\ s.\ t.$ ক্যালরি

$$=4\times 5\times 3\times 10^6\times 0{\cdot}00129\times 0{\cdot}20\times 10 \text{ ক্যালরি}$$

নির্ণেয় সময় t সেকেণ্ড হইলে,

$$উদ্ভূত\ তাপ=\frac{V.\ i.\ t.}{J}\ ক্যালরি=\frac{250\times 5\times t}{4{\cdot}2}\ ক্যালরি$$

বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ ধরিয়া

$$\frac{250\times 5\times t\times 60}{4{\cdot}2}=4\times 5\times 3\times 10^6\times 0{\cdot}00129\times 0{\cdot}24\times 10$$

$$বা,\ t=\frac{60\times 129\times 24\times 4{\cdot}2}{250\times 5}=624\ সেকেণ্ড$$

$=10$ মিঃ 24 সেঃ।

3. কোন বৈদ্যুতিক বাতিকে 200 ভোল্টে যুক্ত করিলে রোধের পরিমাণ 125 ওহম হইলে তারের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ নির্ণয় কর।

[The filament of an incandescent lamp when connected to mains of 200 volt supply has a resistance of 125 ohms. What is the current through the filament ?] [H. S.]

উ। তড়িৎ প্রবাহ $=\frac{\text{বিভব-প্রভেদ}}{\text{রোধ}}=\frac{200}{125}=1{\cdot}6$ অ্যামপীয়ার।

4. দুইটি সমান আকারের একটি দৈর্ঘ্যের তার আছে। তাদের ব্যাসের অনুপাত 1 : 2 এবং তারা শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত আছে। কিছুক্ষণের জন্য তাদের মধ্যে সমপরিমাণের তড়িৎ প্রবাহিত হইলে উদ্ভূত তাপের তুলনা কর। [H.S.]

[Two similar wires of equal length have diameters in the ratio 1 : 2 and are joined in series. Compare the heat developed in the wires if a steady current is passed through them for some time.] [H. S.]

উ। প্রথম তারটির ব্যাস d হইলে

দ্বিতীয় তারটির ব্যাস $2d$ হইবে।

তার দুইটির রোধ যথাক্রমে r_1 ও r_2 ধরা হইল।

আমরা জানি, $r \propto \frac{1}{d^2}$, $\quad \therefore \frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{d^2} \Big/ \frac{1}{(2d)^2} = 4.$

তার দুইটিতে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1 ও H_2 হইলে,

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{r_1}{r_2} = 4 \quad \therefore \quad H_1 : H_2 = 4 : 1$$

5. 2 ওহ্‌ম এবং 4 ওহ্‌ম রোধবিশিষ্ট দুইটি তার শ্রেণী সমবায়ে আছে এবং প্রান্তদ্বয়ের বিভব-প্রভেদ 6 ভোল্ট। তার দুইটিতে উদ্ভূত তাপের তুলনা কর। তার দুইটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিলে উদ্ভূত তাপের তুলনা কর।

[Two wires, of resistances 2 ohms, and 4 ohms respectively, are connected in series and a potential difference of 6 volts is applied between the ends. Compare the rates of heating in the two wires.

What would be the ratio of the rates of heating in the two wires if they were connected in parallel ?]

উ। ১ম অংশ : যেহেতু রোধ শ্রেণী সমবায়ে আছে. সুতরাং তাহাদের মধ্যদিয়া তড়িৎপ্রবাহ একই হইবে। তার দুইটিতে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1 ও H_2 হইলে,

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

২য় অংশ : এইক্ষেত্রে তার দুইটি সমান্তরাল সমবায়ে আছে। তুল্যাংক রোধ R হইলে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4} \quad \therefore \quad R = \frac{4}{3}.$$

বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ $= \frac{6}{4/3} = \frac{9}{2}$ অ্যামপীয়ার

2 ওহ্‌ম রোধের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ,

$$i_1 = \frac{4}{4+2} \times \frac{9}{2} = 3 \text{ অ্যামপীয়ার}$$

4 ওহ্‌ম রোধের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ

$$i_2 = \frac{2}{4+2} \times \frac{9}{2} = 1 \cdot 5 \text{ অ্যামপীয়ার}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{i_1^2}{i_2^2} = \frac{3^2}{(1 \cdot 5)^2} = 4.$$

6. [An electric iron, which when hot has a resistance of 80 ohms, is used on a 220 volt circuit. What will be the cost of using it for 2 hours, if the electrical energy costs 3 as. per kilowatt hour ?

[C. U. 1947]

উ। ইস্ত্রীটি 2 ঘণ্টায় যে পরিমাণ শক্তি ব্যবহার করে তাহার পরিমাণ

$$= \frac{V^2}{r} t = \frac{220 \times 220}{80} \times 2 \text{ ওয়াট্-ঘণ্টা}$$

$= 1210$ ওয়াট্-ঘণ্টা $= 1 \cdot 21$ কিলোওয়াট্-ঘণ্টা

নির্ণেয় খরচের পরিমাণ $= 1 \cdot 21 \times 3 = 3 \cdot 63$ আনা।

7. [Four $100W$, $200V$ and six $50W$, $200V$. lamps are used on a $200V$ mains. Calculate the current flowing through the mains and the total resistance of the lamps.] [C. U. 1960]

উ। বাতিগুলির মোট তড়িৎ-ক্ষমতা $= 4 \times 100 + 6 \times 50$

$= 700$ ওয়াট্।

কিন্তু বিভবপ্রভেদ $\times$ তড়িৎ-প্রবাহ $=$ তড়িৎ-ক্ষমতা $= 700$

$$\therefore \quad \text{তড়িৎ-প্রবাহ} = \frac{\text{তড়িৎ-ক্ষমতা}}{\text{বিভব-প্রভেদ}} = \frac{700}{200} = 3 \cdot 5 \text{ অ্যাম্পীয়ার}$$

$$\text{তুল্যাঙ্ক রোধ} = \frac{\text{বিভব-প্রভেদ}}{\text{তড়িৎপ্রবাহ}} = \frac{200}{3 \cdot 5} = 57 \cdot 14 \text{ ওহ্‌ম।}$$

8. [How many 60-watt lamps may be safely run on a 230-volt circuit fitted with a 5-amp fuse ?]

উ। মনে রাখিতে হইবে যে বাতিগুলি সমান্তরাল সমবায়ে আছে। বাতিগুলির ভিতর দিয়া মোট যে পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে তাহা 5 অ্যামপীয়ারের বেশী হইলে ফিউজটি গলিয়া যাইবে। প্রত্যেকটি বাতির ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ

$$=\frac{60}{230}=\frac{6}{23} \text{ অ্যামপীয়ার}$$

$$\therefore \text{ নির্ণেয় বাতির সংখ্যা} = 5 \div \frac{6}{23} = 19{\cdot}2$$

সুতরাং 19টি বাতি ব্যবহার করা যাইতে পারে। প্রকৃতপক্ষে আলো জ্বালিবার সময় তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বেশী থাকে। সেইজন্য নিরাপত্তার খাতিরে 19টির চেয়ে কম বাতি ব্যবহার করা উচিত।

9. তাপযুগ্মের একটি সন্ধিকে 0°C-এ রাখিলে এবং তড়িচ্চালক বল, $e = at + bt^2$ হইলে নিরপেক্ষ তাপমাত্রা বাহির কর। $a = 16{\cdot}65 \times 10^{-6}$ এবং $b = -2{\cdot}97 \times 10^{-8}$ হইলে নিরপেক্ষ তাপমাত্রা কত হইবে ?

[The e.m.f. of a themocouple, one junction of which is kept at 0°C is given by $e = at + bt^2$. Find the Neutral temperature. What will be the neutral temperature if 'a' $= 16{\cdot}65 \times 10^{-6}$ and 'b' $= -2{\cdot}97 \times 10^{-8}$?]

উ। প্রথম অংশ :

আমরা জানি, নিরপেক্ষ তাপমাত্রায় (t_n) 'e' সর্বোচ্চ হইবে এবং de/dt শূন্য হইবে।

কিন্তু $e = at + bt^2$

$$\therefore \frac{de}{dt} = a + 2bt_n = 0.$$

$$\text{বা,} \quad t_n = -\frac{a}{2b}$$

দ্বিতীয় অংশ : নিরপেক্ষ তাপমাত্রা t_n°C হইলে,

$$t_n = -\frac{a}{2b} = \frac{16{\cdot}65 \times 10^{-6}}{2 \times 2{\cdot}97 \times 10^{-8}} = 280{\cdot}4°\text{C}$$

প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের সূত্রাবলী লিখ। পরীক্ষার সাহায্যে উহাদের সত্যতা কিরূপে নিরূপণ করিবে? [State the laws of heating effect of current? How will you verify them experimentally?]

2. তড়িৎপ্রবাহের তাপীয়-ফল সংক্রান্ত জুলের সূত্রাবলী প্রতিষ্ঠিত কর। পরীক্ষার সাহায্যে জুল-তুল্যাঙ্কের মান নির্ণয় কর। [Establish Joule's law of heating effect of current. Describe an experiment to determine the value of J.]

3. জুল, ওয়াট, কিলো-ওয়াট-ঘণ্টা বলিতে কি বুঝায়? কোন বৈদ্যুতিক বাতির উপর "230 ভোল্ট-100 ওয়াট" লেখা থাকিলে উহার তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর। বাতিটি জ্বলিতে থাকিলে তড়িৎপ্রবাহ কত হইবে? [What is meant by Joule, watt and kilowatt-hour. Explain the significance when "230 volt-100 watt" is written on an electric bulb. What will be the current when the lamp burns.] [Ans. 10/23 amp.]

4. 10 ওহ্ম কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া 10 মিনিট ধরিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে 1000 গ্রাম জল 25°C হইতে 75°C-এ উত্তপ্ত হয়। তড়িৎপ্রবাহের মান নির্ণয় কর। [A 10 ohm coil of wire is used to heat 1000 gm. of water from 25°C to 75°C in 10 mins. How much current must be used?] [Ans. 5·92 amps.]

5. 4·2 ওহ্ম রোধ-বিশিষ্ট তারের ভিতর দিয়া 2 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ 5 মিনিট প্রবাহিত হইলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। [Calculate the amount of heat generated when a current of 2 amperes flows for 5 minutes through a wire of 4·2 ohm resistance. $J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ ergs per calorie.] [Ans. 1200 calorie]

6. 10 ওহ্ম রোধ-বিশিষ্ট তারের ভিতর দিয়া 5 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ 2 মিনিট প্রবাহিত হইলে যে পরিমাণ তাপ উদ্ভূত হইবে তাহা 100 গ্রাম জলকে কত ডিগ্রী উত্তপ্ত করিবে? [A current of 5 amperes flows through a wire of resistance 10 ohms for 2 minutes. If the heat produced be exclusively supplied to 100 gms. of water, through how many degrees will the temperature be raised?] [Ans. 72°C]

7. 60 ওহ্ম রোধের ভিতর দিয়া কি পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ 1 ঘণ্টা প্রবাহিত হইলে 1 কিগ্রা. জল 0°C হইতে স্ফুটনাঙ্কে উত্তপ্ত হইবে? [What current would have to flow for an hour through a resistance of 60 ohms in order that heat produced might suffice to raise 1 kgm. of water from 0°C to its boiling point?] [Ans. 1·39 Amp.]

8. A battery of accumulators of e. m. f. 50 volts and internal resistance 2 ohms, is charged on 100 volts direct current mains. What series resistance will be required to give charging current of 2 amp.? If the battery be charged for 8 hours and one B. O. T. U. costs 1 d., then find the total cost. [Ans. 23 ohms; 1·6d]

9. Twenty lamps of 60 watts each are run for 5 hours from 230 volts supply. Calculate (a) the units consumed, (b) the current through the mains, (c) the resistance of one lamp and (d) the heat produced in calories by all the lamps.

[Ans: (a) 6 units, (b) 5·22 amp. (c) 881·7 ohms. (d) $51{\cdot}7\times10^{6}$ cals].

10. The filament of an electric lamp has a resistance of 65 ohms at the room temperature of 80°F. When it is connected to 230 volts, the filament attains a temperature of 5000°F. Calculate the monthly (30 days) charge if the lamp is used for 4 hours every day, given that the temperature co-efficient of resistance for tungsten is 0 0045 per degree Centigrade, and the cost of electrical energy is 25 paise per unit. [Ans. Rs. 1·82]

11. Two electric lamps rated for 220 volts are of wattages 60 and 40 respectively. Find the heat generated in each lamp per second when they are connected in series across 220 volts. [Ans. 2·3 cal. and 3·43 cal.]

12. A University Hostel has 360 lamps installed. The lamps consume 50 watts each and are lighted up for 6 hours daily for 9 months. The voltage of the supply is 220 and the current costs 0·16 paise per kilowatt-hour. Find the cost of the energy as well as the maximum current used.

[Ans. Rs. 10935/— ; 81·8 ampere.]

13. In a hostel of 40 boys there are 48 electric lamps, each of which is marked 40 watts, 220 volts. All the lamps burn on an average of 5 hours daily. The current costs 0·31 paise per kilowatt-hour. What will be the cost of the current for a month of 30 days ? If the cost of the current has to be paid by the students, what must each contribute ? [Ans. Rs. 90/—Rs. 2 25 p.]

14. An electric lamp has a resistance of 400 ohms. It is connected to a supply mains of 200 volts. If the price of electric energy be 8 as. per K. W. H., calculate the cost of lighting the lamp for 10 hours. [Ans. 19 p.] [C. U. 1950]

15. In a domestic 220 volts supply there are two 60 W lamps, one 40 W lamps ; two 25 W lamps. one 65 W fan and one half H. P. electric motor for pumping water. Discuss whether a 5 ampere fuse may be used in the main circuit. [Ans : Yes]

16. The thermal efficiency of an electric generating station is 28·6% and the calorific value of the coal burnt is 12,400 B. Th. U./lb. Calculate the weight of coal burnt per unit generated. Calculate also the output of the station at a time when it is burning at the rate of 30 tons/hour.

[Ans. 0·963 lb ; 69820 K.W.H.]

17. A total load of 5 tons is to be raised through 50 ft. by an electricity operated lift. If one-third of the electrical energy supplied is wasted in the motor and gearing, calculate the no of K. W. hour. If the above load is to be raised in 15 minutes, calculate the H. P. output required to do this and also the current taken by the motor if the supply pressure is 400 volts.

[Ans. 0·317 K. W. H. ; 1·7 H. P. : 3·17 A]

18. সীবেক ক্রিয়া কাহাকে বলে ? চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। তাপযুগ্ম, তাপীয় তড়িচ্চালক বল, তাপ তড়িৎপ্রবাহ এবং সীবেক সারণী বলিতে কি বুঝায় ? [Explain Seebeck effect with the help of a diagram. Explain what is understood by Thermo-couple, Thermo e.m.f., Thermo electric current and Seebeck series.]

19. তাপ তড়িচ্চালক বল কাহাকে বলে ? তাপমাত্রার সহিত তাপ তড়িচ্চালক বল কিরূপে পরিবর্তিত হয়, তাহা লেখচিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। নিরপেক্ষ তাপমাত্রা এবং উৎক্রম তাপমাত্রা বলিতে কি বুঝায় ? [What is meant by Thermo-e.m.f. ? Explain the variation of Thermo-e.m.f. with temperature with the help of a graph. What is understood by neutral temperature and temperature of inversion ?]

20. পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া কাহাকে বলে ? পরীক্ষার সাহায্যে পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া কিরূপে প্রদর্শিত করিবে ? পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া ও জুল ক্রিয়ার পার্থক্য লিখ। [What is Peltier effect ? How will you demonstrate Peltier effect experimentally ? Distinguish between Peltier effect and Joule's effect.]

21. টম্‌সন ক্রিয়া কাহাকে বলে ? ধনাত্মক টম্‌সন ক্রিয়া বলিতে কি বুঝায় ? পরীক্ষার সাহায্যে টমসন ক্রিয়া কিরূপে প্রদর্শিত করিবে ? [What is Thomson effect ? What is meant by the statement that the Thomson effect is positive. How will you demonstrate Thomson effect experimentally.]

22. থার্মোপাইলের বর্ণনা দাও ও উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [Describe a Thermo-pile and explain its working principle.]

23. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ : (i) সীবেক ক্রিয়া, (ii) পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া, (iii) টম্‌সন ক্রিয়া। [Write short notes on : (i) Seebeck effect, (ii) Peltier effect, (iii) Thomson effect.]

পঞ্চম অধ্যায়.

তড়িৎপ্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া

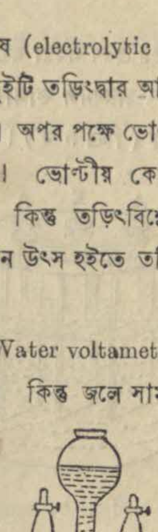
(Chemical Effects of Current)

5-1. তড়িৎ প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া (Chemical effects of current) : **তড়িৎবিশ্লেষণ** (Electrolysis) : পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায় যে বিশুদ্ধ জল তড়িতের কুপরিবাহী। কিন্তু জলে কিছু পরিমাণ অজৈব অম্ল (acid), ক্ষার বা লবণ গুলিয়া দিলে দ্রবণের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে পারে। কিন্তু তড়িৎপ্রবাহের ফলে দেখা যাইবে যে দ্রাব (solute) পদার্থের অণুগুলি বিশ্লিষ্ট হইয়া যাইতেছে। ইহাকে তড়িৎ প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া বলে। বিশ্লিষ্ট অংশগুলিতে এক বা একাধিক পরমাণু থাকিতে পারে। একাধিক পরমাণু লইয়া গঠিত অংশগুলিকে মূলক (radical) বলা হয়। এই সমস্ত বিশ্লিষ্ট অংশগুলিকে আয়ন (ion) বলে এবং ইহাদের ইলেকট্রনের পরিমাণ স্বাভাবিকের চেয়ে কম বা বেশী। বিশ্লিষ্ট অংশগুলিতে স্বাভাবিকের চেয়ে ইলেকট্রনের পরিমাণ কম হইলে ধনাত্মক আয়ন (positive ion) এবং বেশী হইলে ঋণাত্মক আয়ন (negative ion) বলা হয়। যে প্রক্রিয়ার ফলে কোন দ্রবণের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহের ফলে দ্রাব পদার্থের অণুগুলি বিশ্লিষ্ট হইয়া যায় তাহাকে **তড়িৎ-বিশ্লেষণ** (electrolysis) বলে। যে দ্রবণের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহের ফলে তড়িৎবিশ্লেষণ ঘটিয়া থাকে তাহাকে **তড়িৎবিশ্লেষ্য** (electrolyte) বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ, ঈষৎ অম্লযুক্ত জল, তুঁতে গোলা জল, সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ (Silver nitrate solution) ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। যে পরিবাহী দুইটির সাহায্যে তড়িৎবিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটানো হয় তাহাদিগকে তড়িৎদ্বার (electrodes) বলে। যে তড়িৎদ্বার দিয়া তড়িৎপ্রবাহ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যে প্রবেশ করে তাহাকে অ্যানোড্ (Anode) এবং যে তড়িৎদ্বার দিয়া তড়িৎপ্রবাহ বাহির হইয়া যায় তাহাকে ক্যাথোড্ (Cathode) বলা হয়। তড়িৎবিশ্লেষ্যে তড়িৎ-প্রবাহের সময় ধনাত্মক আয়নগুলি ক্যাথোডের দিকে এবং ঋণাত্মক আয়নগুলি অ্যানোডের দিকে সঞ্চালিত হয়। যে পাত্রে তড়িৎ বিশ্লেষণ সংঘটিত হয় তাহাকে ভোল্টামিটার (Voltameter) বলে। বিভিন্ন কাজের জন্য বিভিন্ন ধরনের ভোল্টামিটার

ব্যবহৃত হয়। ভোল্টামিটারকে অনেক সময় তড়িৎবিশ্লেষক কোষ (electrolytic cell) বলা হয়। ভোল্টীয়কোষের মত তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষেরও দুইটি তড়িৎদ্বার আছে। কিন্তু এই কোষের তড়িৎদ্বার দুইটি একই উপাদানে হইতে পারে। অপর পক্ষে ভোল্টীয় কোষের তড়িৎদ্বার দুইটি ভিন্ন উপাদানের না হইলে চলিবে না। ভোল্টীয় কোষের ভিতরে রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে তড়িৎশক্তি উৎপন্ন হয়। কিন্তু তড়িৎবিশ্লেষক কোষের তড়িৎশক্তির নিজস্ব কোন উৎস নাই। বাহিরের কোন উৎস হইতে তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠান হয়।

5-2. জল-ভোল্টামিটার : জলের তড়িৎ বিশ্লেষণ (Water voltameter : Electrolysis cf vater) : বিশুদ্ধ জল তড়িতের অপরিবাহী। কিন্তু জলে সামান্য পরিমাণ অজৈব অম্ল গুলিয়া দিলে উহার ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ-প্রবাহ ঘটিতে পারে।

জলের তড়িৎ বিশ্লেষণের জন্য অংশাঙ্কিত দুইটি কাচের নল A এবং B লওয়া হয় (চিত্র 5ক)। নল দুইটি নীচের দিকে আর একটি ছোট কাচের নল দ্বারা সংযুক্ত। G-নলটিতে অম্ল-মিশ্রিত জলের সঞ্চয় থাকে। এই যন্ত্রটিকে জল-ভোল্টামিটার বলে।



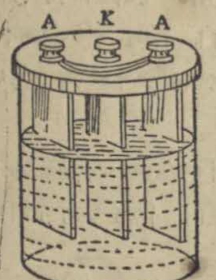
চিত্র—5ক

A এবং B নলটির উপরের প্রান্তে দুইটি স্টপ কক্ এবং নীচের প্রান্তে প্লাটিনামের দুইটি তড়িৎদ্বার লাগানো থাকে। স্টপকক্ দুইটি বন্ধ রাখিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ঘটাইলে একটি নলে হাইড্রোজেন এবং অপরটিতে অক্সিজেন জমিতে থাকিবে। A নলটিতে ক্যাথোড আছে; সেইজন্য এই নলটিতে হাইড্রোজেন এবং অপর নলটিতে অক্সিজেন জমা হইবে। পরীক্ষাদ্বারা দেখা যাইবে যে একই অবস্থায় হাইড্রোজেনের আয়তন অক্সিজেনের আয়তনের দ্বিগুণ হইবে। ইহা প্রমাণ করে যে আয়তন হিসাবে দুইভাগ হাইড্রোজেন এবং একভাগ অক্সিজেন মিশিয়া জল উৎপন্ন করে। তড়িৎ-বিশ্লেষণের সময় নিম্নলিখিত বিক্রিয়াটি ঘটিয়া থাকে :

$$H_2O \rightarrow 2H^+ + O^{--}$$

5-3. তাম্র ভোল্টামিটার : তুঁতের দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণ (Electrolysis of copper sulphate solution) : একটি কাচের পাত্রে কিছু পরিমাণ

তুঁতের দ্রবণ লইয়া কয়েক ফোঁটা সালফিউরিক অ্যাসিড মিশান হইল। এইক্ষেত্রে তড়িৎ-দ্বারগুলি তামার তৈয়ারী এবং তাহারা এবোনাইটের ঢাকনা হইতে ঝোলানো থাকে (চিত্র 5 খ)। সাধারণত দুইটি তামার পাত (A, A) পরস্পর সংযুক্ত থাকে এবং অ্যানোড হিসাবে কাজ করে। তাহাদের মাঝখানে রাখা তামার তৈয়ারী K-পাতটি ক্যাথোড হিসাবে ব্যবহৃত হয়। দ্রবণের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে ক্যাথোড দ্বারে তামার অণু জমিতে থাকিবে। ক্যাথোড পাতের উভয় দিকেই অ্যানোড পাত থাকার জন্য ক্যাথোডের দুইদিকেই তামার অণু সঞ্চিত হইবে। পরীক্ষার পূর্বে ক্যাথোড পাতটিকে ভালভাবে পরিষ্কার করিয়া ওজন করা হয়। পরীক্ষার পরে পাতটিকে শুকাইয়া ওজন করিলে দেখা যাইবে যে ওজন বাড়িয়া গিয়াছে। ইহা প্রমাণ করে যে, তড়িৎবিশ্লেষণের ফলে তামা সঞ্চিত হইয়াছে। ক্যাথোড পাতের প্রতি বর্গসেন্টিমিটারে 1 অ্যাম্পীয়ার হিসাবে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে তড়িৎবিশ্লেষণ খুব ভাল হইবে।



চিত্র—5খ

কার্যনীতি : দ্রবণের ফলে তুঁতের অণুগুলি নিম্নলিখিতভাবে আয়নিত হয় :

$$CuSO_4 \rightleftharpoons Cu^{++} + SO_4^{--}$$

ধনাত্মক তামার আয়নগুলি ক্যাথোড অভিমুখে গমন করে এবং ক্যাথোড হইতে ইলেকট্রন ঘাটতি পূরণ করিয়া তামার অণুহিসাবে ক্যাথোডে সঞ্চিত হয়। ঋণাত্মক আয়ন $(SO_4)^{--}$ অ্যানোড অভিমুখে গমন করে এবং উদ্বৃত্ত ইলেকট্রন অ্যানোডকে প্রদান করে। তাহার পর অ্যানোডের তামার অণুর সহিত বিক্রিয়া করিয়া $CuSO_4$ অণু সৃষ্টি করে। এইরূপে সৃষ্ট $CuSO_4$ অণুগুলি দ্রবীভূত হইয়া দ্রবণের ঘনত্ব ঠিক রাখে। সুতরাং তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে অণুগুলি অ্যানোড পাত হইতে ক্যাথোড পাতে চলিয়া যায়।

তড়িৎ-দ্বার দুইটি তামার পরিবর্তে প্লাটিনাম বা অন্য কোন নিষ্ক্রিয় ধাতুর হইলে আগের মতই ক্যাথোড পাতে তামার অণু জমা হইবে কিন্তু অ্যানোড পাতে $(SO_4)^{--}$ আয়ন জলের সহিত বিক্রিয়া করিয়া H_2SO_4 অ্যাসিড প্রস্তুত করিবে এবং অক্সিজেন গ্যাস বিমুক্ত করিবে। ইহার ফলে দ্রবণের ঘনত্ব কমিয়া যাইবে।

উপরের কাচের পাত্রে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ লইয়া রূপার তড়িৎ-দ্বার সাহায্যে

তড়িৎ-প্রবাহ ঘটাইলে রূপার অণুগুলি অ্যানোড পাত হইতে ক্যাথোড পাতে জমা হইবে। সেক্ষেত্রে যন্ত্রটিকে রৌপ্য-ভোল্টামিটার বলা হয়।

উপরোক্ত উপায়গুলির সাহায্যে বিশুদ্ধ তামা বা রূপা প্রস্তত করা সম্ভব।

5-4. **ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণের সূত্রাবলী** (Faraday's Laws of electrolysis) : কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তড়িৎ-দ্বারে আয়ন সঞ্চিত হয়। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে কি পরিমাণ আয়ন সঞ্চিত হইবে তাহা ফ্যারাডের সূত্রাবলীর সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব।

প্রথম সূত্র : সঞ্চিত আয়নের ভর তড়িৎবিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া প্রবাহিত তড়িতের সমানুপাতিক।

দ্বিতীয় সূত্র : বিভিন্ন তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হইলে বিভিন্ন তড়িৎদ্বারে সঞ্চিত আয়নের ভর উহাদের রাসায়নিক তুল্যাংকের সমানুপাতিক হইবে।

প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা : Q পরিমাণ তড়িতের জন্য সঞ্চিত আয়নের পরিমাণ W হইলে প্রথম সূত্রানুসারে, $W \propto Q$.

কিন্তু তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ i ও সময়ের পরিমাণ t হইলে, $Q = i \times t$

$\therefore \; W \propto i\,t$ বা, $W = z.\,i.\,t$

এখানে z একটি ধ্রুবক এবং ইহাকে পদার্থটির **তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাংক** (Electro-chemical equivalent বা E.C.E.) বলা হয়।

উপরের সমীকরণে $i,\, t = 1$ বসাইলে, $W = z$ হইবে। অর্থাৎ একক পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হইলে যে পরিমাণ আয়ন সঞ্চিত হইবে তাহা বস্তুটির **তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাংকের** সমান। উদাহরণস্বরূপ, তামার তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাংক ·00033 গ্র্যাম/কুলম্ব। ইহাদ্বারা বুঝিতে হইবে যে এক কুলম্ব তড়িৎ কোন তাম্রঘটিত লবণের দ্রবণের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইলে ঋণাত্মক তড়িৎদ্বারে ·00033 গ্র্যাম তামা সঞ্চিত হইবে।

দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা : কোন মৌলের পারমাণবিক ওজন ও যোজ্যতার অনুপাতকে উহার **রাসায়নিক তুল্যাংক** (Chemical equivalent) বলা হয়। ধর, নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎ দুইটি বিভিন্ন তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া প্রবাহিত

করাইলে সঞ্চিত আয়নের পরিমাণ যথাক্রমে W_1 ও W_2 হইল। বস্তুদ্বয়ের রাসায়নিক তুল্যাংক যথাক্রমে C_1 ও C_2 হইলে, ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে,

$$\frac{W_1}{W_2}=\frac{C_1}{C_2},$$

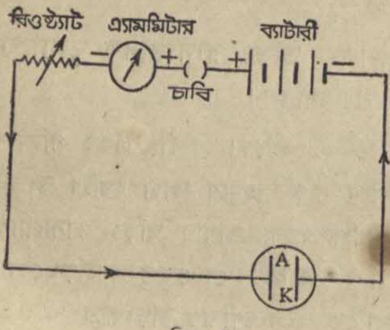
কিন্তু প্রথম সূত্র হইতে, $$\frac{W_1}{W_2}=\frac{Z_1Q}{Z_2Q}=\frac{Z_1}{Z_2}.$$

সুতরাং $$\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{C_1}{C_2}$$

অর্থাৎ, $$\frac{\text{প্রথম বস্তুটির তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাংক}}{\text{দ্বিতীয় বস্তুটির তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাংক}}=\frac{\text{প্রথম বস্তুটির রাসায়নিক তুল্যাংক}}{\text{দ্বিতীয় বস্তুটির রাসায়নিক তুল্যাংক}}$$

রূপা এবং তামার তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাংক যথাক্রমে ·001118 গ্রাম/কুলম্ব এবং ·000329 গ্রাম/কুলম্ব।

5-5. পরীক্ষার সাহায্যে ফ্যারাডের সূত্রদ্বয়ের প্রমাণ (Experimental verification of Faraday's laws) : নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি দ্বারা ফ্যারাডের সূত্রাবলী প্রমাণ করা যাইতে পারে।



চিত্র—5গ

প্রথম সূত্রের পরীক্ষা : প্রথম সূত্রের পরীক্ষার জন্য তড়িৎ বর্তনীটিকে 5(গ)নং চিত্রের অনুরূপ করিতে হইবে। তাম্র ভোল্টামিটারে তুঁতের দ্রবণ লইতে হইবে। ক্যাথোড পাতটিকে পরিষ্কার করিয়া শুষ্ক অবস্থায় ওজন লওয়া হইল। তাহার পর পাতটিকে ভোল্টামিটারে রাখিয়া একটি নির্দিষ্ট প্রবাহমাত্রা (ধর, i) বর্তনীটিতে t_1 সময় ধরিয়া চালানো হইল। মনে রাখিতে হইবে যে তড়িৎ-প্রবাহের মান যেন পরিবর্তিত না হয়। প্রয়োজন হইলে রিওস্ট্যাটকে নিয়ন্ত্রিত করিতে হইবে। পরীক্ষার পরে ক্যাথোড পাতটিকে পরিষ্কার করিয়া ধুইয়া শুষ্ক অবস্থায় ওজন করিলে দেখা যাইবে যে উহার ওজন বাড়িয়া গিয়াছে। ধর, ঐ

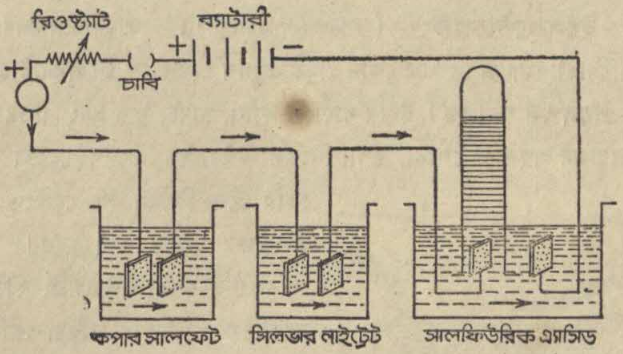
ওজন বৃদ্ধির পরিমাণ W_1 গ্রাম। ক্যাথোড পাতটিকে পুনরায় ভোল্টামিটারে রাখিয়া একই পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ (i) t_2 সময় ধরিয়া পাঠাইতে হইবে। এই ক্ষেত্রে ওজন বৃদ্ধির পরিমাণ W_2 হইলে দেখা যাইবে যে,

$$\frac{W_1}{W_2}=\frac{t_1}{t_2}. \text{ কিন্তু } \frac{t_1}{t_2}=\frac{it_1}{it_2}=\frac{Q_1}{Q_2}$$

$$\therefore \frac{W_1}{W_2}=\frac{Q_1}{Q_2}$$

অর্থাৎ $W \propto Q$.

দ্বিতীয় সূত্রের পরীক্ষা : এই ক্ষেত্রে 5 (ঘ) নং চিত্রের মতো বর্তনীটি সাজাইতে হইবে। একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ নির্দিষ্ট সময় ব্যাপিয়া বিভিন্ন তড়িৎবিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া পাঠাইতে হইবে। তড়িৎবিশ্লেষ্যগুলি যথাক্রমে সালফিউরিক অ্যাসিড, কপার সালফেট ও সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ হইলে, ক্যাথোডে



চিত্র—5ঘ

যথাক্রমে হাইড্রোজেন, তামা ও রূপা সঞ্চিত হইবে। উহাদের পরিমাণ যথাক্রমে W_1, W_2 ও W_3 হইলে এবং রাসায়নিক তুল্যাংকের মান যথাক্রমে C_1, C_2 ও C_3 হইলে পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে,

$$W_1 : W_2 : W_3 = C_1 : C_2 : C_3$$

এইভাবে দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণ করা সম্ভব।

5-6. তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ নির্ণয় (Determination of current by electrolysis) **:** কোন তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া i পরিমাণ

তড়িৎ-প্রবাহ t সেকেণ্ড ধরিয়া পাঠানোর ফলে সঞ্চিত আয়নের পরিমাণ W গ্রাম হইলে এবং বস্তুটির তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাংক Z হইলে,

$W = Z.\ i.\ t$ হইবে।

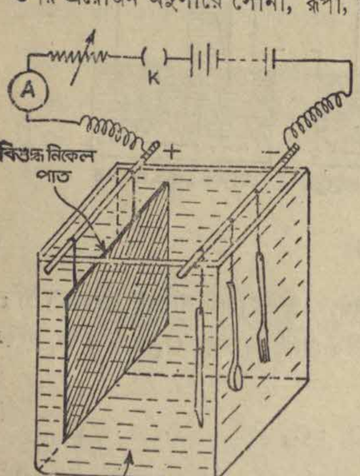
বা, $i = \dfrac{W}{Zt}$

সুতরাং W, Z এবং t জানা থাকিলে তড়িৎপ্রবাহের মান নির্ণয় করা সম্ভব। উপরোক্ত সমীকরণের সাহায্যে নির্ণীত তড়িৎ প্রবাহের মান তড়িচ্চুম্বকীয় এককে (e.m.u) সূচিত হইবে। তড়িৎ প্রবাহ I অ্যামপীয়ার হইলে,

$$I = \frac{i}{10} = \frac{W}{10} Zt.$$

5·7. তড়িৎ বিশ্লেষণের প্রয়োগ (Application of Electrolysis): তড়িৎবিশ্লেষণের সাহায্যে, ইলেকট্রোপ্লেটিং, ইলেকট্রোটাইপিং, বিশুদ্ধ ধাতু নিষ্কাশন ইত্যাদি সম্ভবপর।

(ক) **ইলেকট্রোপ্লেটিং** (Electroplating): তড়িৎবিশ্লেষণের সাহায্যে কোন পরিবাহী বস্তুর উপর অন্য কোন ধাতুর প্রলেপ দেওয়াকে **ইলেকট্রোপ্লেটিং** বা **তড়িৎ-প্রলেপন** বলা হয়। ইহার সাহায্যে কাঁটা, চামচ, ছুরি এবং বিভিন্ন যন্ত্রপাতির উপর প্রয়োজন অনুসারে সোনা, রূপা, নিকেল ইত্যাদির প্রলেপ দেওয়া সম্ভবপর। ইহার ফলে জিনিসগুলি দেখিতে সুন্দর হয় এবং ক্ষয় হইতে রক্ষা করে। যে সমস্ত জিনিসগুলিকে ইলেক্ট্রোপ্লেটিং করিতে হইবে তাহাদিগকে পরিষ্কার করিয়া একটি পরিবাহী দণ্ড হইতে একটি বাক্সের ভিতর ঝুলাইয়া রাখা হয়। পরিবাহী দণ্ডটি বিশ্লেষণের জন্য ঋণাত্মক দ্বার হিসাবে কাজ করে। যে ধাতুটির প্রলেপ দেওয়া হইবে তাহার একটি পাতকে উপরোক্ত বাক্সটির ভিতর ঝুলাইয়া রাখা হয়। ইহা ধনাত্মক তড়িৎদ্বার হিসাবে কাজ করিবে। বাক্সটির ভিতরে উপযুক্ত দ্রবণ রাখিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে ধনাত্মক পাত হইতে ধাতুকণাগুলি আসিয়া ঝুলানো বস্তুগুলির উপর জমিতে থাকিবে



চিত্র—5·3

এবং একটি প্রলেপের সৃষ্টি করিবে। বস্তুগুলির উপর সমভাবে প্রলেপ দিতে হইলে তড়িৎবিশ্লেষণের সময় উহাদিগকে আস্তে আস্তে ঘুরাইতে হইবে।

বিভিন্ন ধরনের প্রলেপ দিবার জন্য বিভিন্ন প্রকারের দ্রবণ ব্যবহৃত হয়। রূপার প্রলেপ দিতে হইলে একখণ্ড বিশুদ্ধ রূপার পাতকে ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার হিসাবে ব্যবহার করিতে হইবে। সেক্ষেত্রে দ্রবণ হিসাবে AgCN (1 ভাগ), KCN (4 ভাগ) এবং জল (100 ভাগ) ব্যবহার করিতে হইবে। চিত্রে নিকেলের প্রলেপ দেওয়ার ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে (চিত্র 5৬)। এই ক্ষেত্রে বিশুদ্ধ নিকেলের দ্বার ধনাত্মক তড়িৎ দ্বার এবং নিকেল সালফেটের জলীয় দ্রবণ তড়িৎদ্রব হিসাবে কাজ করে।

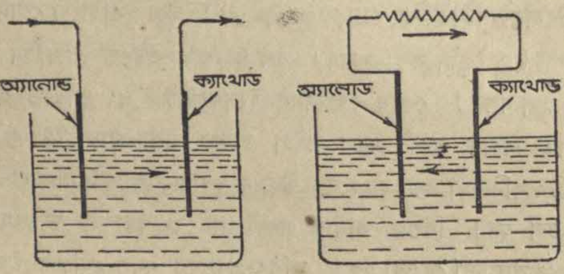
(*b*) **ইলেক্ট্রোটাইপিং** (Electrotyping): ইহার সাহায্যে কোন মুদ্রা, লেখা বা ছবির একটি ছাঁচ তৈরী করা সম্ভব। এই ছাঁচগুলি হইতে প্রয়োজন মত অনেক কপি প্রস্তুত করা সম্ভব। কোন জিনিসের ইলেক্ট্রোটাইপিং করিতে হইলে প্রথমে মোমের উপর তাহার একটি ছাপ লইয়া তাহার উপর গ্রাফাইটের গুঁড়া ছড়াইয়া তাহাকে তড়িৎ পরিবাহী করা হয়। পরে উহাকে ঋণাত্মক পাত হিসাবে $CuSO_4$ দ্রবণে ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। বিশুদ্ধ তামার একটি পাতকে ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার হিসাবে উপরোক্ত দ্রবণে ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে মোমের ছাঁচটির উপর তামা জমিতে থাকিবে। প্রলেপটি উপযুক্ত পরিমাণ পুরু হইলে তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ করিয়া ছাঁচটি ছাড়াইয়া লওয়া হয়। এই ছাঁচের সাহায্যে প্রয়োজনমত বস্তুটির অনেক কপি ছাপানো সম্ভবপর।

মোটামুটি এই পদ্ধতি অবলম্বন করিয়াই গ্রামোফোন রেকর্ড প্রস্তুত করা হয়।

(*c*) **ধাতু নিষ্কাশন** (Extraction of metals): তড়িৎ বিশ্লেষণের সাহায্যে সোডিয়াম, পটাসিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি ধাতু নিষ্কাশিত করা হইয়া থাকে। ইহার সাহায্যে বিশুদ্ধ ধাতু প্রস্তুত করাও সম্ভবপর। উদাহরণস্বরূপ বিশুদ্ধ তামা পাইতে হইলে একটি তড়িৎবিশ্লেষণ কোষে একখণ্ড বিশুদ্ধ তামার দণ্ডকে ঋণাত্মক এবং খাদ মিশানো তামাকে ধনাত্মক তড়িৎদ্বার হিসাবে রাখা হয়। তড়িৎবিশ্লেষণ কোষে কপার সালফেট দ্রবণকে তড়িৎদ্রব হিসাবে রাখা হয়। তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে থাকিলে প্রায় 99·9% বিশুদ্ধ তামা ঋণাত্মক তড়িৎদ্বারের উপর জমিতে থাকিবে।

5-8. **গৌণ কোষ** (Secondary cell) বা **সঞ্চয়ক কোষ** (Accumulators): প্রথম অধ্যায়ে লেকল্যান্স কোষ ইত্যাদি বর্ণিত হইয়াছে। এই সমস্ত ক্ষেত্রে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তড়িৎ-শক্তি উৎপন্ন হয়। কিন্তু রাসায়নিক

পদার্থগুলির কার্যক্ষমতা কমিয়া গেলে আর তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া সম্ভব নহে। সেইরূপ অবস্থায় কোষটিকে কার্যক্ষম করিতে হইলে নূতনভাবে রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহৃত হয়। সঞ্চয়ক কোষের ক্ষেত্রেও রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তড়িৎশক্তি উৎপন্ন হয়। কিন্তু ইহার বিশেষত্ব এই যে কোষটির কার্যক্ষমতা কমিয়া গেলে যদি কোষটির ভিতর দিয়া বিপরীত দিকে উপযুক্ত উপায় অবলম্বন করিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয়, তবে কোষট আবার কার্যক্ষম হইয়া উঠে। সুতরাং প্রয়োজন অনুসারে কোষটির ভিতর রাসায়নিক শক্তির আকারে তড়িৎশক্তি সঞ্চিত করা সম্ভব। সেইজন্য এই প্রকারের কোষকে **সঞ্চয়ক কোষ** বা **গৌণ কোষ** বলা হয়। কোষটির কার্যক্ষমতা ফিরাইয়া আনিবার জন্য

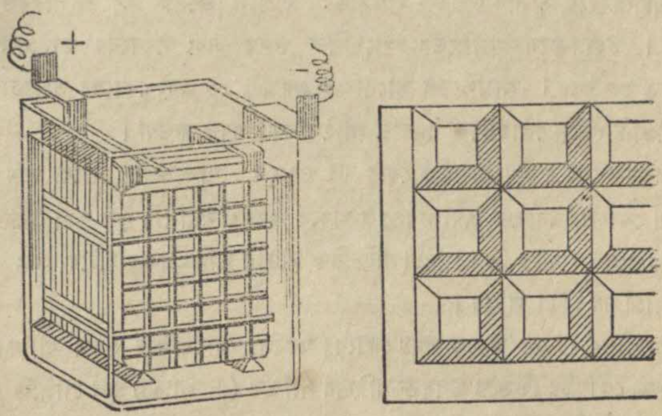


চিত্র—5চ

বিপরীত দিকে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানোর ব্যবস্থাকে **আহিতকরণ** (charging) বলা হয়। আহিতকরণের সময় তড়িৎশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিক হয় এবং কোষটির ভিতর দিয়া ধনাত্মক পাত হইতে ঋণাত্মক পাতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিয়া থাকে (চিত্র 5চ)। যখন কোষটি বাহিরের কোন বর্তনীতে তড়িৎ সরবরাহ করে, তখন রাসায়নিক শক্তি তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং কোষটির ভিতর দিয়া ঋণাত্মক পাত হইতে ধনাত্মক পাত অভিমুখে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিয়া থাকে (চিত্র 5চ)। প্রয়োজন অনুসারে সঞ্চয়ক কোষকে অনেকবার আহিত করা সম্ভব। কিন্তু মনে রাখিতে হইবে যে **আহিতকরণের সময় সমপ্রবাহ** (D. C.) ব্যবহার করিতে হইবে।

সঞ্চয়ক কোষে সক্রিয় তরল হিসাবে কোন উপযুক্ত অম্ল বা ক্ষার ব্যবহার করা সম্ভবপর। কিন্তু আমরা কেবলমাত্র অম্লজাতীয় কোষের বিষয় আলোচনা করিব। এই ধরনের সঞ্চয়ক কোষ ফরাসীদেশের বৈজ্ঞানিক প্লান্টি (Plante) সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন। পরবর্তীকালে আর একজন ফরাসী বৈজ্ঞানিক ফরে (Faure) কোষটির নির্মাণ ব্যাপারে অনেক উৎকর্ষ সাধন করেন। সঞ্চয়ক কোষে একটি পুরু কাচের পাত্রে

লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড থাকে এবং উহার ভিতর কতকগুলি সীসার পাত সমান্তরাল ভাবে ডুবাইয়া রাখা হয়। কাচের বা রবারের সরু দণ্ডের সাহায্যে পাতগুলিকে পরস্পর বিচ্ছিন্ন রাখা হয়। সীসার পাতগুলিকে পর্যায়ক্রমে (alternately) ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক মেরুর সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 5ছ)। সঞ্চয়ক কোষের শক্তি (capacity) বৃদ্ধি করিবার জন্য সীসার পাতগুলিকে নিরেট না করিয়া তাহাদের



চিত্র—5ছ

ভিতরে ঝাঁঝরির মত ছোট ছোট ছিদ্র (grid) রাখা হয় (চিত্র 5ছ)। ঝাঁঝরির এই ফাঁকগুলি লিথার্জ (PbO) ও সালফিউরিক অ্যাসিড মিশ্রণে প্রস্তুত লেই দ্বারা ভর্তি করা হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে ধনাত্মক পাতগুলির ছিদ্রগুলিতে রেড লেড (Pb_3O_4) ব্যবহৃত হয়। আহিতকরণের পূর্বে উভয় পাতে লেড সালফেট জমা থাকে।

$$PbO + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O.$$

আহিতকরণের সময় তড়িৎপ্রবাহের ফলে জলের অণুগুলি হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনে বিশ্লিষ্ট হইয়া যায়। উহারা সীসার পাতগুলির সহিত নিম্নলিখিত রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত করে।

ধনাত্মকপাত, $PbSO_4 + O + H_2O = PbO_2 + H_2SO_4$

ঋণাত্মকপাত, $PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4$

আহিতকরণের সময় সালফিউরিক অ্যাসিডের অণু গঠিত হওয়ার ফলে অ্যাসিডের

ঘনত্ব বাড়িয়া যায়। সম্পূর্ণভাবে আহিত অবস্থায় অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·25 এবং কোষটির তড়িচ্চালক বল 2·2 ভোল্ট হইয়া থাকে।

যখন কোষটি বাহিরের কোন বর্তনীতে তড়িৎ সরবরাহ করে, তখন নিম্নলিখিত রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয়।

ধনাত্মকপাতে, $PbO_2 + H_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + 2H_2O$

ঋণাত্মকপাতে, $Pb + O + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O$.

এই অবস্থায় সালফিউরিক অ্যাসিডের অণুগুলি জলের অণুতে পরিণত হইতে থাকে। ইহার ফলে অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং কোষের তড়িচ্চালক বল কমিতে শুরু করে। অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·18 এবং কোষের তড়িচ্চালক বল 1·8 ভোল্ট হইলে কোষটিকে পুনরায় আহিত করা অবশ্য কর্তব্য।

সঞ্চয়ক কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ ·01 ওহ্‌ম্। আভ্যন্তরীণ রোধের মান খুব কম বলিয়া কোষটির ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক দ্বারকে কখনও সরাসরি যুক্ত করা উচিত নহে। ইহা করিলে কোষটির ভিতর দিয়া অতিরিক্ত মাত্রায় তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে এবং কোষটি একেবারে নষ্ট হইয়া যাইবে।

বাষ্পীভবনের জন্য অনেক সময় কোষের তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব বাড়িয়া যায়। সেক্ষেত্রে কোষটির ভিতরে উপযুক্ত পরিমাণ পাতিত (distilled) জল ঢালিতে হইবে। যাহারা ব্যাটারী প্রস্তুত করেন তাহারা কোষটির গায়ে একটি চিহ্ন রাখিয়া দেন। ইহাকে 'অ্যাসিড লেভেল' বলা হয়। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যেন কোষটির তরলের উচ্চতা সর্বদাই অ্যাসিড লেভেলে থাকে।

বাহিরের বর্তনীতে তড়িৎ সরবরাহের সময় প্রথম দিকে কোষটির তড়িচ্চালক বল আস্তে আস্তে কমিতে থাকে, কিন্তু কোষটি সম্পূর্ণভাবে কার্যক্ষমতা হারাইবার পূর্বে উহার তড়িচ্চালক বল খুব দ্রুত হারে 1·8 ভোল্টে নামিয়া যায়। সেইজন্য কেবলমাত্র কোষের তড়িচ্চালক বল জানিয়াই উহার কার্যক্ষমতার অবস্থা সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব নহে। কিন্তু কোষটির কার্যক্ষমতা কমিবার সময় তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব সমহারে কমিতে থাকে। সেইজন্য অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিয়া কোষটির প্রকৃত কার্যক্ষমতা সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব। ব্যাটারী হাইড্রোমিটারের সাহায্যে অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হয়।

ব্যবহার ঃ আমাদের দৈনন্দিন জীবনে সঞ্চয়ক কোষের প্রচুর ব্যবহার দেখা যায়। পরীক্ষাগারে, পেট্রোল ইঞ্জিন, জাহাজ, ট্রেন বা মোটরগাড়ীতে আলো

জ্বালাইবার জন্য এই সমস্ত কোষ ব্যবহৃত হয়। এই সমস্ত কোষে অ্যাসিড থাকার জন্য ব্যবহারের সময় সাবধানতা অবলম্বন করা উচিত।

5.9. তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ ও সাধারণ কোষের পার্থক্য (Difference between an electrolytic cell and an ordinary cell) :

তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ	সাধারণ কোষ
(i) তড়িৎ দ্বার দুইটি একই উপাদানের তৈয়ারী।	(i) তড়িৎ-দ্বার দুইটি বিভিন্ন উপাদানে তৈয়ারী।
(ii) বাহির হইতে প্রযুক্ত তড়িচ্চালক বলের জন্য তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষে তড়িৎপ্রবাহ চলে এবং রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হয়।	(ii) সাধারণ কোষে রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে তড়িৎ-দ্বার দুইটির মধ্যে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব ঘটে।
(iii) এই ধরনের কোষে তড়িৎ-শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।	(iii) এই ধরনের কোষে রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।
(iv) দ্রাবক তরলের পরিমাণ বাড়াইলে বেশী পরিমাণে আয়ন মুক্ত হইবে।	(iv) তরলের পরিমাণ বাড়াইলে তড়িচ্চালক বলের কোন পরিবর্তন ঘটিবে না।
(v) তাপমাত্রা বাড়াইলে রাসায়নিক বিক্রিয়া বাড়িয়া যায়।	(v) তাপমাত্রা বাড়াইলে তড়িচ্চালক বল সামান্য পরিমাণে বাড়িয়া যায়।

5-10. তড়িৎ বিশ্লেষণের তত্ত্ব (Theory of electrolysis) : আরেনিয়াসের (Arrhenius) মতে কোন দ্রাব (solute) বস্তুকে উপযুক্ত দ্রাবকে (solvent) দ্রবীভূত করিলে উহার অণুগুলি বিপরীত ভাবে আহিত দুইটি অংশে ভাঙ্গিয়া যায়। এই ধরনের অংশগুলিকে আয়ন বলা হয় এবং আয়নগুলিতে এক বা একাধিক পরমাণু থাকে। আয়নগুলি ধনাত্মক বা ঋণাত্মক হইতে পারে কিন্তু তাহাদের আধান সর্বদাই সমমাত্রায় থাকিবে। উদাহরণ স্বরূপ, NaCl-কে জলে মিশাইলে উহার অণুগুলি Na^+ এবং Cl^- আয়নে ভাঙ্গিয়া যাইবে। অনুরূপভাবে, জলের দ্রবণে $CuSO_4$ অণুগুলি Cu^{++} এবং SO_4^{--} আয়নে বিভাজিত হইবে।

দ্রাবক তরলের পরিমাণ বাড়াইলে দ্রাবের অণুগুলি আরও বেশী পরিমাণে বিশ্লিষ্ট হইবে এবং মুক্ত আয়নের সংখ্যা আরও বাড়িয়া যাইবে। দ্রাবকের পরিমাণ যথেষ্ট হইলে দ্রাবের সমস্ত অণুগুলি বিশ্লিষ্ট হইয়া যাইবে। তড়িৎ-বিশ্লেষ্যে তড়িৎ প্রবাহের সময় ধনাত্মক আয়নগুলি ক্যাথোডের দিকে এবং ঋণাত্মক আয়নগুলি অ্যানোডের দিকে সঞ্চালিত হয়। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নগুলির বিপরীতমুখী গতির জন্য দ্রবণে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। মনে রাখিতে হইবে যে, রাসায়নিক বিশ্লেষণ ও তড়িৎ

বিশ্লেষণ এক জিনিস নহে। রাসায়নিক বিশ্লেষণের জন্য কোন যৌগিক পদার্থের অণু দুই বা ততোধিক অনাহিত অণু বা পরমাণুতে ভাঙ্গিয়া যায়।

উদাহরণস্বরূপ NH_4Cl কে সামান্য গরম করিলে উহা NH_3 এবং HCl-অণুতে ভাঙ্গিয়া যায়।

$$NH_4Cl \rightleftharpoons NH_3 + HCl$$

কিন্তু তড়িৎ-বিশ্লেষণে কোন যৌগিক পদার্থের অণু একটি ধনাত্মক ও একটি ঋণাত্মক আয়নে ভাঙ্গিয়া যায়। যেমন,

$$NH_4Cl = NH_4^+ + Cl^-$$

উদাহরণ

1. কোন তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ আছে। এক ঘণ্টায় ক্যাথোডের উপর 0·805 গ্রাম রৌপ্য সঞ্চিত করিতে হইলে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা নির্ণয় কর। রৌপ্যের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = ·001118 গ্রাম/কুলম্ব।

[Calculate the strength of the current that is to be sent for an hour through an electrolytic cell containing silver nitrate solution for depositing 0·805 gm. of silver on the cathode (E.C.E. of silver = 0·001118 gm. per coulomb.)]

উ। আমরা জানি, $W = Z.I.t$

$$\text{বা,}\quad I = \frac{W}{Z.t}$$

$$\therefore\quad I = \frac{W}{Z.t} = \frac{0{\cdot}805}{0{\cdot}001118 \times 60 \times 60} = 0{\cdot}2 \text{ অ্যাম্পীয়ার।}$$

2. 15 মিনিট ধরিয়া রৌপ্য-ভোল্টামিটারে 4 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে 4 গ্রাম রৌপ্য সঞ্চিত হয়। রৌপ্যের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর।

[If 4 ampere of current flowing through a silver voltameter for 15 minutes deposit 4 gms. of silver, then find the electro-chemical equivalent of silver.]

উ। আমরা জানি $W = Z.I.t.$

$$\therefore\quad Z = \frac{W}{I.t} = \frac{4}{4 \times 15 \times 60} = 0{\cdot}0011 \text{ গ্রাম/কুলম্ব।}$$

3. কপার সালফেট দ্রবণে 3 অ্যামপীয়ার তড়িৎপ্রবাহ 30 মিনিট প্রবাহিত হইলে সঞ্চিত তামার পরিমাণ নির্ণয় কর। তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=0·000333 গ্রাম/কুলম্ব।

[Calculate the mass of copper liberated when a current of 3 ampere flows through a copper sulphate solution for 30 minutes. E.C.E. of copper = 0·000333 gm./coulomb.]

উ। সঞ্চিত তামার পরিমাণ W হইলে

$$W = Z.I.t = \cdot000333 \times 3 \times 30 \times 60 = 1\cdot8 \text{ গ্রাম।}$$

4. A current of two amperes is passed through a $CuSO_4$ solution. The area ef the cathode surface is 1·5 sq metres. Calculate the average increase in thickness of copper of deposit per minute. [E.C.E. of copper = ·0003294 and density of cu = 8·9 gms/c.c.]

উ। সঞ্চিত তামার পরিমাণ, $W = Z.I.t = \cdot0003294 \times 2 \times 60$

$$= \cdot039528 \text{ গ্রাম।}$$

ক্যাথোডের বেধ (thickness) প্রতি সেকেণ্ডে d সেমি. বাড়িলে,

W = ক্যাথোডের ক্ষেত্রফল × d × তামার ঘনত্ব

$$\therefore \quad d = \frac{W}{A\rho} = \frac{\cdot039528}{1\cdot5 \times (100)^2 \times 8\cdot9} = 0\cdot296 \times 10^{-6} \text{ সেমি.}$$

5. A battery is connected through a copper voltameter and a 2 ohm resistance all in series. When current flows for 30 minutes through the voltameter, the weight of the cathode increases by 1·476gm. If the potential difference between the ends of the two ohm resistance be 5 volts then find the E.C.E. of copper.

উ। এক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহ

$$I = \frac{\text{বিভব প্রভেদ}}{\text{রোধ}} = \frac{5}{2} = 2\cdot5 \text{ অ্যাম্পীয়ার।}$$

আমরা জানি, $W = Z.I.t$

$$\therefore \quad Z = \frac{W}{I.t} = \frac{1\cdot476}{2\cdot5 \times 30 \times 60} = 0\cdot000328 \text{ গ্র্যাম/কুলম্ব।}$$

6. How much Zinc will be consumed in a battery the current from which deposits 6 gms. of silver from a bath of silver nitrate, if 20

percent of the Zinc is wasted through local action? (Chemical equivalent of Zinc = 32·5 ; of silver = 108).

উ। প্রথম অংশ : ধর দস্তা এবং রূপার মুক্ত আয়নের পরিমাণ যথাক্রমে W_1 এবং W_2.

নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া একই তড়িৎ প্রবাহ ঘটিলে

$$\frac{W_1}{W_2}=\frac{Z_1\,I\,t}{Z_2\,I.t}=\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{C_1}{C_2}=\frac{32\cdot5}{108}$$

$$\therefore\ W_1=\frac{32\cdot5}{108}\times W_2=\frac{32\cdot5}{108}\times 6=1\cdot8 \text{ গ্রাম।}$$

স্থানীয় ক্রিয়ার জন্য যে পরিমাণ দস্তা ক্ষয় হয় তাহার পরিমাণ

$$=1\cdot8\times\frac{20}{100}=\cdot36 \text{ গ্রাম।}$$

অতএব দস্তার পাতের ক্ষয়ের মোট পরিমাণ = 1·8 + ·36 = **2·16 গ্রাম।**

প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎ-বিশ্লেষণ বলিতে কি বুঝ? নিম্নলিখিত রাশিগুলির দ্বারা কি বুঝায় তাহা ব্যাখ্যা কর: (i) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য; (ii) তড়িৎ-দ্বার; (iii) ক্যাথোড; (iv) অ্যানোড; (v) আয়ন; (vi) রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। [What do you mean by electrolysis. Explain the following terms: (i) Electrolyte; (ii) Electrodes; (iii) Cathode; (iv) Anode; (v) Ion; (vi) Electro-chemical Equivalent.]

2. আয়ন, তড়িৎ-বিশ্লেষ্য এবং তড়িৎ-বিশ্লেষণ বলিতে কি বুঝায় তাহা ব্যাখ্যা কর। তড়িৎ বিশ্লেষক কোষ এবং ভোল্টীয় কোষের মধ্যে পার্থক্য কি? তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে প্রবাহের মাত্রা কিরূপে মাপা যায় তাহা ব্যাখ্যা কর। [Explain the terms ion, electrolyte and electrolysis. What is the difference between an electrolytic cell and a voltaic cell? Explain how an electric current may be measured by the electrolysis it produces.]

3. জল-ভোল্টামিটারের কার্যনীতির বর্ণনা দাও। উহার ভিতরে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে কি হইবে? [Describe the principle of a water voltameter. What will be the result if current is passed through water in it?]

4. তাম্র-ভোল্টামিটারের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্য প্রণালী ব্যাখ্যা কর। ইহার সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ কিভাবে মাপা যায়? [Describe a copper voltameter and explain its working principle. How can electric current be measured with its help?]

5. ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণের সূত্রাবলী লিখ। পরীক্ষার সাহায্যে কিরূপে তাহাদেরকে প্রমাণিত করিবে? [State Faraday's laws of electrolysis. How will you verify them experimentally?]

6. ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণের সূত্রগুলি লিখ এবং ব্যাখ্যা দাও। রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের তুলনা কর। [State and explain Faraday's laws of electrolysis. Compare chemical equivalent with electro-chemical equivalent of an element.]

7. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ: (a) ইলেকট্রোপ্লেটিং, (b) ইলেক্ট্রোটাইপিং। [Write short notes on: (a) Electroplating, (b) Electrotyping.]

8. প্রাথমিক কোষের সহিত গৌণ কোষের তুলনা কর। সঞ্চয়ক কোষের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। [Distinguish between primary cell and secondary cell. Describe an accumulator and explain its working principle.]

9. তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ ও সাধারণ কোষের পার্থক্য লিখ। [State the difference between an electrolytic cell and an ordinary cell.]

10. সংক্ষেপে তড়িৎ-বিশ্লেষণের তত্ত্ব লিখ। [State briefly the theory of electrolysis.]

11. A metal plate having a total surface area of 300 sq. cm. is to be nickel-plated. If a current of 1·5 amp. is used for three hours, find the thickness of nickel deposited on the plate, [Density of nickel = 8·8 gm./c.c. ; E.C.E. of nickel = 0·000304 gm./coulomb.] [Ans. $1·87 \times 10^{-3}$ cm.]

12. A current of 2 amperes is passed through a $CuSO_4$ solution. The area of the cathode surface is 0·01 square metre. Calculate the average increase in thickness of the copper deposit per minute. (E.C.E. of Cu = ·000329 gm./coulomb, density of Cu. = 8·9 gm./c.c.) [Ans. $44·36 \times 10^{-6}$cm.]

13. A copper voltameter is connected in series with a battery and a standard 2-ohm coil. The current is passed for 30 minutes and the increase in weight of the cathode is 1·476 gm. The mean reading of a voltameter connected across the 2-ohm coil is 5 volts. Determine E.C.E. of copper. [Ans. 0·000328 gm./coulomb.]

14. Find the amount of copper deposited when 2 ampere of current passes through a copper sulphate solution for 50 minutes. E.C.E. of copper = ·000328 gm./coulomb. [Ans. 1·968 gm.]

15. Find the strength of electric current which when flowing through a silver nitrate solution deposits 2·236 gm. of silver in 1 hr. 15 minutes. E.C.E. of silver = ·001118 gm./coulomb. [Ans. ·444 amp.]

16. Some quantity of electricity passes through copper sulphate solution and silver nitrate solution. If the amount of silver deposited be 1·08 gm. then find the amount of copper that will be deposited. Atomic weights of silver and copper are respectively 108 and 63·6. [Ans. ·318 gm.]

17. 3·167 amperes of current passes for 4 hours through three voltameters containing copper sulphate solution, silver nitrate solution and dilute sulphuric acid all connected in series. Find the masses of copper, silver and hydrogen.

[E.C.E. of silver = ·001118 gm./coulomb ; At wts. of silver, copper and hydrogen are 108, 63·6 and 1·008 respectively.]

[Ans. Ag = 50·3 gm., Cu = 14·85 gm., H_2 = ·47 gm.]

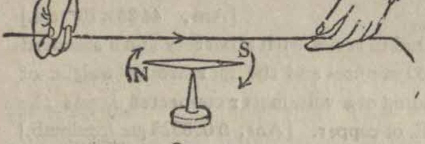
ষষ্ঠ অধ্যায়

তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া

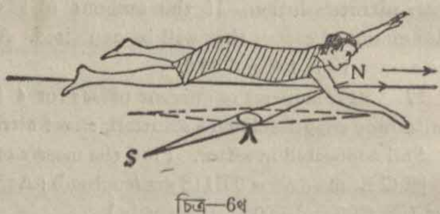
(Magnetic effect of current)

6·1. ওরষ্টেডের পরীক্ষা (Orsted's experiment) : কোন পরিবাহী তারের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে উহার চারিপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। ইহাকে **তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল** বলা হয়। 1820 খ্রীষ্টাব্দে ওরষ্টেড্ সর্বপ্রথম এই ঘটনা লক্ষ্য করেন। তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো যাইতে পারে :

একটি চুম্বক শলাকার উপরে একটি পরিবাহী তারকে ধরা হইল। সাধারণভাবে চুম্বক শলাকাটি উত্তর-দক্ষিণ অভিমুখে থাকিবে। কিন্তু দেখা যাইবে যে পরিবাহী তারটির ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটাইলে চুম্বক শলাকাটি তীর চিহ্ন অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হইয়াছে (চিত্র 6ক)। তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বাড়াইলে বিক্ষেপের পরিমাণও বাড়িয়া যাইবে। অধিকন্তু তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে শলাকাটির বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হইবে। তড়িৎ পরিবাহী তারটিকে চুম্বক শলাকার আরও নিকটে আনিলেও বিক্ষেপ বাড়িয়া যায়। সুতরাং চুম্বক-শলাকাটির বিক্ষেপ তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ এবং দূরত্বের উপর নির্ভরশীল। কিন্তু চুম্বক শলাকাটি কোন্ দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে তাহা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এবং শলাকাটির অবস্থানের উপর নির্ভর করে। শলাকাটির বিক্ষেপের অভিমুখ নিম্নলিখিত সূত্রগুলির সাহায্যে নির্ণয় করা যাইতে পারে :



চিত্র—6ক



চিত্র—6খ

(i) **অ্যামপীয়ারের সন্তরণ সূত্র** (Ampere's Swimming Rule) : মনে কর কোন লোক পরিবাহী তার বরাবর তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখে স্বাভাবিক ভাবে

(free style) সাঁতার কাটিতেছে এবং তাহার মুখ চুম্বকশলাকার দিকে আছে। তাহা হইলে উত্তর মেরু লোকটির বাম হাতের দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে (চিত্র 6 খ)।

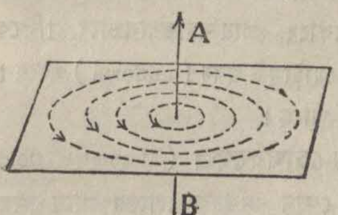
(ii) **ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম** (Maxwell's Cork-screw Rule) : মনে কর তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখে একটি দক্ষিণাবর্তী (right-handed) কর্ক-স্ক্রু ঘুরানো হইতেছে। এই অবস্থায় বৃদ্ধাঙ্গুলি যে দিকে ঘুরিতে থাকিবে, চুম্বক শলাকাটির উত্তর মেরু সেই দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে (চিত্র 6 গ)।



চিত্র—6গ

6-2. **বিভিন্ন আকারের তড়িৎ পরিবাহীর জন্য চৌম্বকক্ষেত্র** (Magnetic field due to conductors of different shape) : কোন তারের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে উহার চারিপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। বিভিন্ন আকারের তড়িৎ-বাহী তারের জন্য কি ধরনের চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্ট হইবে তাহা নিম্নে আলোচিত হইয়াছে।

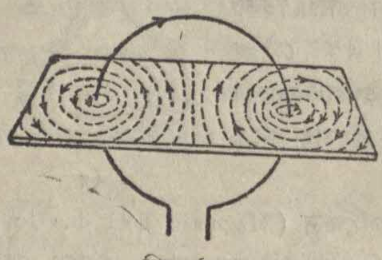
(i) **ঋজু পরিবাহীর জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র** (Magnetic field due to a straight conductor) : AB একটি তড়িৎ পরিবাহী ঋজু তার। ইহাকে একটি কার্ডবোর্ডের ভিতরে লম্বভাবে ঢুকাইয়া কার্ডবোর্ডটির উপর কিছু লৌহচূর্ণ ছড়ানো হইল। তড়িৎপ্রবাহ চলাকালীন কার্ডবোর্ডের উপর আস্তে আস্তে কয়েকবার টোকা দেওয়া হইল। ইহা করিলে দেখা যাইবে যে লৌহ চূর্ণগুলি তারটির চারি দিকে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্তাকারে সজ্জিত হইয়াছে (চিত্র 6 ঘ)। কার্ডবোর্ডটির যে বিন্দুতে তারটি ছেদ করিয়াছে, সেই বিন্দুটি উপরোক্ত বৃত্তগুলির কেন্দ্রবিন্দু হইবে। লৌহচূর্ণগুলির সজ্জা তড়িৎপ্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক বলরেখাগুলির ধরন সূচিত করিবে। চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি সূচীকম্পাস্ রাখিয়া বলরেখাগুলির অভিমুখ নির্দিষ্ট করা যাইতে পারে। তড়িৎপ্রবাহ বিপরীত দিকে ঘটিলে বলরেখাগুলির অভিমুখও সম্পূর্ণভাবে উল্টাইয়া যাইবে। এই প্রসংগে উল্লেখ করা যাইতে পারে যে উপরোক্ত বলরেখাগুলি পরিবাহী তারের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র এবং পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্র ইহাদের উভয়ের লব্ধি হিসাবে উপরোক্ত বলরেখাগুলি



চিত্র - 6ঘ

পাওয়া গিয়াছে। তবে তারটির খুব নিকটে তড়িৎপ্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাব পৃথিবীর চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রভাবের তুলনায় খুব বেশী হইবে। সুতরাং মোটামুটিভাবে নিকটের বলরেখাগুলি তড়িৎবাহী তারটির জন্যই হইয়াছে বলিয়া ধরা যাইতে পারে। এই প্রসংগে আরও লক্ষণীয় বিষয় এই যে তড়িৎবাহী তারটি নিজে কোন লৌহচূর্ণ আকর্ষণ করে না। সুতরাং ইহা চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে ; কিন্তু নিজে চুম্বকে পরিণত হয় না।

(ii) **বৃত্তাকার তড়িৎপরিবাহী তারের জন্য চৌম্বকক্ষেত্র** (Magnetic field due to a circular wire carrying a current) : একটি তারের দুইটি প্রান্তকে কার্ডবোর্ডের দুইটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া ঢুকাইয়া তারটিকে কার্ডবোর্ডের তলের সহিত উল্লম্বভাবে বৃত্তাকারে রাখা হয়। কার্ডবোর্ডটির উপর কিছু লৌহচূর্ণ ছড়াইয়া দেওয়া হয়। তারটির ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহের সময় কার্ডবোর্ডটিতে আস্তে আস্তে টোকা দিলে লৌহ চূর্ণগুলি একটি নির্দিষ্ট সজ্জায় সজ্জিত হইবে। তারের নিকটের বলরেখাগুলি তারের চারিদিকে মোটামুটি সমকেন্দ্রিক বৃত্তাকারে থাকিবে। কিন্তু বৃত্তাকার তারের কেন্দ্রস্থলের বলরেখাগুলি বৃত্ততলের সহিত সমকোণে প্রায় সমান্তরালভাবে থাকিবে (চিত্র 6 ঙ)। সুতরাং এই অংশের চৌম্বকক্ষেত্র মোটামুটি সুষম (uniform) হইবে। এই ধরনের চৌম্বকক্ষেত্রের বহু ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে।

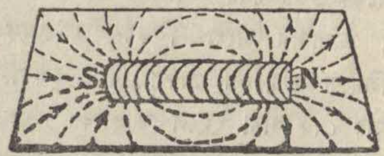


চিত্র—6ঙ

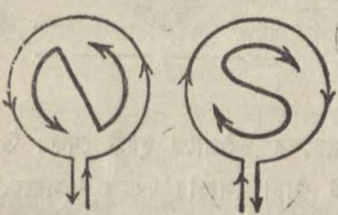
(iii) **সলিনয়েডে তড়িৎপ্রবাহের জন্য চৌম্বকক্ষেত্র** (Magnetic field due to a solenoid carrying a current) : কোন অন্তরক চোঙের গায়ে অক্ষ বরাবর একটি দীর্ঘ অন্তরিত তারকে ঘন সন্নিবিষ্ট ভাবে জড়ানো হইলে একটি সলিনয়েড উৎপন্ন হয়। এই ক্ষেত্রে তারের যে কোন পাক চোঙটির অক্ষের সহিত মোটামুটি অভিলম্ব অবস্থায় থাকিবে।

সলিনয়েডের জন্য কিরূপ চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হইবে তাহা দেখানোর জন্য সলিনয়েডকে কার্ড বোর্ডের উপর এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে উহার অর্ধাংশ কার্ড বোর্ডের নীচে এবং বাকী অংশ উপরে থাকে। কার্ড বোর্ডের উপর কিছু লৌহ চূর্ণ ছড়াইয়া সলিনয়েডের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ ঘটানো হইল। কার্ডবোর্ডটিতে

আস্তে আস্তে টোকা দিলে দেখা যাইবে যে লৌহ চূর্ণগুলি একটি নির্দিষ্ট সজ্জায় সজ্জিত হইয়াছে (চিত্র 6চ)। চিত্রটি অনুধাবন করিলে দেখা যাইবে যে সলিনয়েডের বলরেখাগুলি দণ্ড চুম্বকের বলরেখার অনুরূপ হইয়াছে। সুতরাং সলিনয়েডে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে উহা দণ্ড চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করিবে। আরও একটি বিষয় লক্ষ্য করিতে হইবে যে সলিনয়েডের ভিতরে বলরেখাগুলি ঘনসন্নিবিষ্ট এবং উহার অক্ষের সমান্তরাল। সলিনয়েডের ভিতরে একটি কাঁচা লোহার দণ্ড রাখিলে ইহার ভেদ্যতা (permeability) বেশী হওয়ার জন্য কাঁচা লোহাটির ভিতর বলরেখাগুলি আরও ঘনসন্নিবিষ্ট হইবে।



চিত্র—6চ

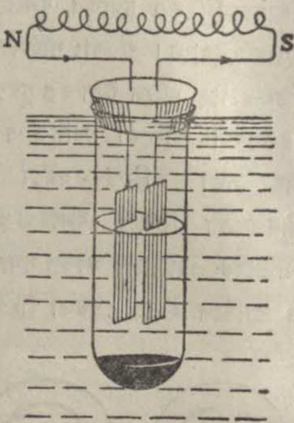


চিত্র—6ছ

সলিনয়েডটির কোন্ প্রান্তে কি মেরুর সৃষ্টি হইবে তাহা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভর করিবে। কোন প্রান্ত হইতে সলিনয়েডের অক্ষ বরাবর তাকাইলে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ বামাবর্তী (anti clock-wise) মনে হইলে ঐ প্রান্তটি উত্তরমেরু বিশিষ্ট হইবে। তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ দক্ষিণাবর্তী (clock-wise) মনে হইলে প্রান্তটিতে দক্ষিণ মেরু সৃষ্টি হইবে (চিত্র 6 ছ)।

6·3. **ডি-লা রিভের ভাসমান ব্যাটারী** (De la Rive's floating Battery): তড়িৎবাহী সলিনয়েড দণ্ড চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে। ইহা ডি লা রিভের ভাসমান ব্যাটারীর সাহায্যে দেখানো যাইতে পারে। পরীক্ষাটির জন্য একটি লম্বা টেষ্টটিউবে কিছু লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড রাখিয়া উহার ভিতরে একটি দস্তার পাত এবং একটি তামার পাত ডুবাইয়া দেওয়া হয়। সলিনয়েডের প্রান্ত দুইটিকে টেষ্টটিউবে আটকানো কর্কের ভিতর দিয়া পাত দুইটির সহিত যুক্ত করিলে সলিনয়েডের ভিতরে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে থাকিবে। ইহার কারণ টেষ্টটিউবে রাখা সালফিউরিক অ্যাসিড এবং তামা ও দস্তার পাত একটি ভোল্টীয় কোষ হিসাবে কাজ করিবে। সলিনয়েড সমেত টেষ্টটিউবটিকে জলে ভাসাইয়া দিলে দেখা যাইবে যে সলিনয়েডটির অক্ষ চৌম্বক মধ্যতল বরাবর রহিয়াছে। সলিনয়েডটিকে একটু নড়াইয়া দিলেও উহা

পুনরায় চৌম্বক মধ্যতলে রহিবে। সুতরাং সলিনয়েডটি মুক্ত অবস্থায় ঝুলানো দণ্ড চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করিতেছে। তাছাড়া সলিনয়েডটির উত্তর মেরুর নিকট কোন চুম্বকের উত্তর মেরু আনিলে দেখা যাইবে যে তাহাদের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটিতেছে। সলিনয়েডের দক্ষিণ মেরুর নিকটে চুম্বকটির উত্তর মেরু আনা হইলে তাহাদের ভিতরে আকর্ষণ ঘটিতে দেখা যাইবে। সুতরাং প্রমাণিত হইল যে তড়িৎবাহী সলিনয়েড একটি দণ্ড চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে।



চিত্র—6জ

6-4. তড়িচ্চুম্বক (Electromagnet) : তড়িৎপ্রবাহের ফলে উৎপন্ন চুম্বককে **তড়িচ্চুম্বক** বলা হয়। আমরা জানি যে সলিনয়েডের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহ ঘটাইলে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্ট হয় এবং সলিনয়েডের দুইপ্রান্তে দুইটি মেরুর উদ্ভব হয়। তড়িৎচুম্বক প্রস্তুত করিতে হইলে একটি কাঁচা লোহার দণ্ডকে সলিনয়েডের



চিত্র—6ঝ

ভিতরে ঢুকাইয়া দিতে হইবে। সলিনয়েডের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে দেখা যাইবে যে কাঁচা লোহার দণ্ডটি একটি চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। সলিনয়েডে তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উহার অক্ষ বরাবর যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্ট হয়, তাহা কাঁচা লোহার দণ্ডটিকে চুম্বকে পরিণত করে। তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করিলে লোহার দণ্ডটি আর চুম্বক থাকিবে না। তড়িৎচুম্বকের কোন প্রান্তে কি মেরু সৃষ্টি হইবে, তাহা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভরশীল। তড়িচ্চুম্বকের যে প্রান্তে তড়িৎপ্রবাহ বামাবর্তী মনে হইবে, সেই প্রান্তটিতে উত্তর মেরু এবং অপর প্রান্তটিতে দক্ষিণ মেরু সৃষ্টি হইবে। তড়িচ্চুম্বকের শক্তি তড়িৎপ্রবাহের শক্তির উপর, সলিনয়েডে পাক (turn)-এর সংখ্যার উপর এবং

তড়িচ্চুম্বকের ভেদ্যতার উপর নির্ভরশীল। তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা আস্তে আস্তে বাড়াইলে চুম্বকটির শক্তি বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। অবশেষে এমন এক অবস্থা আসিবে যখন তড়িৎপ্রবাহ বাড়াইলেও তড়িচ্চুম্বকের শক্তি আর বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হইবে না। এই অবস্থায় চৌম্বক সম্পৃক্তি (magnetic saturation) ঘটিয়াছে বুঝিতে হইবে। চিত্রে একটি দণ্ড আকারের তড়িচ্চুম্বক দেখানো হইয়াছে। (চিত্র 6 ঝ)।

সলিনয়েডের তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীত দিকে করিলে তড়িচ্চুম্বকের মেরুগুলিও বিপরীত হইবে। তড়িচ্চুম্বকের বিশেষ সুবিধা এই যে ইহাকে ইচ্ছামত যে কোন আকারের, যে কোন শক্তিসম্পন্ন এবং প্রান্তদ্বয়কে যে কোন মেরু বিশিষ্ট করা অতি সহজেই সম্ভবপর।

6-5. তড়িচ্চুম্বকের ব্যবহার (Uses of an electro-magnet): বর্তমান যুগের সভ্যতা তড়িচ্চুম্বকের নিকট বিশেষভাবে ঋণী। আমাদের দৈনন্দিন জীবনে ইহা বিভিন্ন ভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

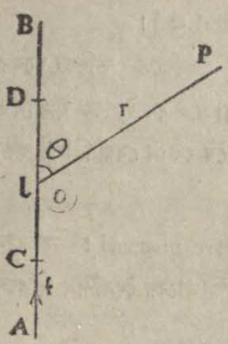
টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, বৈদ্যুতিক ঘণ্টা এবং অনেকানেক স্বয়ং-ক্রিয় যন্ত্রপাতিতে তড়িচ্চুম্বক ব্যবহৃত হয়। তড়িৎশক্তি উৎপন্ন করিবার জন্য ডায়নামোতে তড়িচ্চুম্বকের ব্যবহার অপরিহার্য। চোখের ভিতর হইতে লোহার কুচি বাহির করিবার জন্য চিকিৎসকগণ তড়িচ্চুম্বক ব্যবহার করেন। রাসায়নিক প্রযুক্তি বিদ্যায় (chemical engineering) আকরিক লোহাকে ছোট ছোট আকারে পরিণত করিবার জন্য তড়িচ্চুম্বকের সাহায্যে অনেক উচুতে তোলা হয়। তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করিলে আকরের টুকরাগুলি মাটিতে ফেলিয়া ছোট ছোট আকারে পরিণত করা হয়। এই ব্যবস্থা জামসেদপুরের লৌহকারখানায় অবলম্বিত হয়। ধাতু নিষ্কাশনের ক্ষেত্রে টিনকে Wolfram হইতে পৃথক করিবার জন্য তড়িচ্চুম্বক ব্যবহৃত হয়। পোর্সিলেন তৈয়ারীর ক্ষেত্রে চিনামাটি হইতে লোহাকে পৃথক করিবার জন্য তড়িচ্চুম্বক ব্যবহৃত হয়।

ইহা বলা নিষ্প্রয়োজন যে বিভিন্ন কাজের জন্য ব্যবহৃত তড়িচ্চুম্বকের আকার ও আয়তন বিভিন্ন হইবে।

6-6. তড়িচ্চুম্বক এবং স্থায়ী চুম্বকের ভিতর পার্থক্য (Distinction between electro-magnet and permanent magnet): স্থায়ী চুম্বক অপেক্ষা তড়িচ্চুম্বক ব্যবহারের কতকগুলি বিশেষ সুবিধা আছে। উদাহরণ স্বরূপ উপযুক্তভাবে তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ এবং অভিমুখ পরিবর্তিত করিয়া যথাক্রমে তড়িচ্চুম্বকের শক্তি

এবং মেরু পরিবর্তিত করা সম্ভব। সলিনয়েডে তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করিলে তড়িচ্চুম্বকের শক্তিও অন্তর্হিত হইবে। তাছাড়া, তড়িচ্চুম্বকের সাহায্যে খুব জোরালো চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করা সম্ভবপর।

6-7. তড়িৎ প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক (Electro-magnetic unit of electric current) : কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহ ঘটিলে তাহার চারিদিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। পরিবাহী হইতে যে কোন দূরত্বে কোন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের পরিমাণ **ল্যাপ্‌লাসের সূত্র** হইতে নির্ণয় করা যাইতে পারে। CD পরিবাহীতে i পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ প্রবাহিত হইতেছে এবং ধর P বিন্দুতে AB অংশের জন্য চৌম্বক প্রাবল্য নির্ণয় করিতে হইবে। $AB=l$, $OP=r$, $\angle BOP=\theta$ এবং P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের পরিমাণ F হইলে, ল্যাপ্‌লাসের সূত্রানুসারে,



চিত্র—6ক

$$F \propto i$$
$$\propto l$$
$$\propto \frac{1}{r^2}$$
$$\propto \sin\theta$$

বা, $F \propto \dfrac{i\,l\sin\theta}{r^2}$ বা, $F = k\dfrac{i\,l\sin\theta}{r^2}$

এখানে k একটি ধ্রুবক।

এক্ষণে, তড়িৎ প্রবাহের একক এমনভাবে ধরা হইল যে যখন,

$i=1$, $l=1$, $r=1$, $\theta=90°$, তখন, $F=1$ হইবে

সেক্ষেত্রে $k=1$ হইবে।

$$\therefore\ F=\frac{i\,l}{r^2}$$

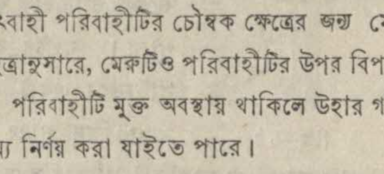
উপরের সর্তাবলী হইতে তড়িৎ প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় এককের সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে। 1 সেমি. ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট 1 সেমি. দৈর্ঘ্যের কোন তারের ভিতর দিয়া যে পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে বৃত্তের কেন্দ্রবিন্দুতে 1 ওর্‌স্টেড্ চৌম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন

হইবে সেই পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহকে তড়িৎ প্রবাহের **তড়িচ্চুম্বকীয় একক** (বা, e. m. u.) ধরা হয়।

তড়িৎপ্রবাহের ব্যবহারিক একক 1 অ্যাম্পীয়ার = 0·1 তড়িচ্চুম্বকীয় একক।

6-8. তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব (Effect of magnetic field on a conductor carrying a current) : আমরা জানি যে, কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তাহার চারিদিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। সুতরাং এইক্ষেত্রে, কোন বিন্দুতে একটি চৌম্বক মেরু রাখা হইলে মেরুটি বল অনুভব করিবে। মেরুটি যে পরিমাণ বল অনুভব করিবে তাহা তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ, পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, মেরুটির শক্তি, পরিবাহী হইতে মেরুটির দূরত্ব ইত্যাদির উপর নির্ভর করিবে। তড়িৎবাহী পরিবাহীটির চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য মেরুটি বল অনুভব করিলে নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে, মেরুটিও পরিবাহীটির উপর বিপরীত দিকে সমপরিমাণ বল প্রয়োগ করিবে। পরিবাহীটি মুক্ত অবস্থায় থাকিলে উহার গতির অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বামহস্ত সূত্র সাহায্যে নির্ণয় করা যাইতে পারে।

ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র (Fleming's Left hand rule) : বাম হস্তের প্রথম তিনটি অঙ্গুলি পরস্পরের সহিত সমকোণে রাখিয়া প্রসারিত করিলে তর্জনী এবং মধ্যমা যদি যথাক্রমে চৌম্বক ক্ষেত্র এবং তড়িৎপ্রবাহের দিক্ নির্দেশ করে, তবে বৃদ্ধাঙ্গুলি পরিবাহীর গতির অভিমুখ সূচিত করিবে (চিত্র 6 ট)।

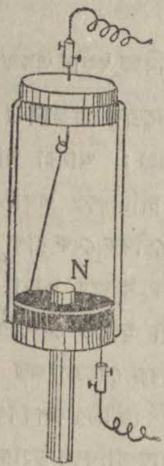


চিত্র—6ট

নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি দ্বারা ইহা দেখানো যাইতে পারে :

(i) **ফ্যারাডের ঘূর্ণন তার পরীক্ষা** (Faraday's rotating wire) : এই পরীক্ষাটি ফ্যারাডে আবিষ্কার করেন। একটি লম্বা কাচের চোঙের দুইটি মুখ ছিপি দ্বারা বন্ধ করিয়া নীচের দিক হইতে কোন দণ্ড চুম্বকের উত্তর মেরুটিকে নলের ভিতর ঢুকাইয়া দেওয়া হয় (চিত্র 6 ঠ)। নলের তলদেশে কিছু পরিমাণ পারদ রাখা হয়। উপরের ছিপিটি হইতে একটি তারের আংটা ঝুলানো আছে। আরেকটি পরিবাহী তারের একপ্রান্ত আংটার সহিত আটকানো থাকে এবং অপর প্রান্তটি পারদে ডুবানো থাকে। কোন ব্যাটারী হইতে বর্তনীর ভিতর জোরালো তড়িৎ প্রবাহ ঘটাইলে দেখা

যাইবে যে পরিবাহী তারটি ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্রানুসারে উত্তর মেরুটির চারিদিকে ঘুরিতে থাকিবে।



চিত্র—6ঠ

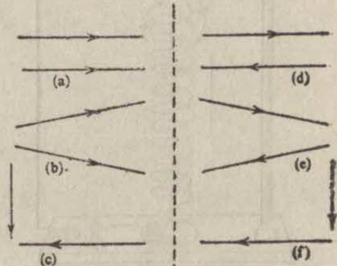
(ii) **বার্লোর চক্র** (Barlow's wheel) : এই পরীক্ষার সাহায্যেও তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রভাব দেখানো যাইতে পারে। বার্লোর চক্রে (চিত্র 6ড) তারকাকৃতি একটি পাতলা তামার চাকৃতি আছে। তামার চাকৃতিটি একটি অনুভূমিক অক্ষের চারিদিকে ঘুরিতে পারে। যন্ত্রটির কাঠের পাটাতনে একটি গর্তের মধ্যে কিছু পারদ এমন ভাবে রাখা আছে যে চাকৃতিটি ঘুরিবার সময় উহার নিম্নতম অংশ পারদকে স্পর্শ করিতে পারে। গর্তটির দুইদিকে কোন শক্তিশালী চুম্বকের বিপরীত মেরুদ্বয়কে রাখা হয়। চিত্রের অনুরূপ তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে দেখা যাইবে যে চাকৃতিটি অনুভূমিক অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরিতেছে। তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে চক্রটি বিপরীত দিকে ঘুরিতে থাকে। চাকৃতিটি কেন ঘুরিবে তাহা নিম্নলিখিত উপায়ে ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে :



চিত্র—6ড

মনে কর, চাকৃতিটির একটি দাঁত পারদের সংস্পর্শে আছে। এই অবস্থায় ব্যাটারী হইতে তড়িৎপ্রবাহ চাকৃতিটির ভিতর দিয়া পারদের ভিতর প্রবাহিত হইবে। চুম্বকের ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী বার্লোর চক্রটি থাকার জন্য চক্রটি বল অনুভব করিবে এবং গতি সম্পন্ন হইবে। চক্রটির গতির অভিমুখ ফ্লেমিং এর বামহস্ত সূত্র মানিয়া চলিবে। চক্রটির প্রথম দাঁতটি গতিসম্পন্ন হওয়ার ফলে গতিজাড্যের জন্য পরের দাঁতটি পারদের সংস্পর্শে আসিবে এবং উপরোক্ত কারণে ইহা একটি বল অনুভব করিবে। এইরূপে পর্যায়ক্রমে দাঁতগুলি বল অনুভব করার জন্য চক্রটি ঘুরিতে থাকিবে। তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে ফ্লেমিং-এর সূত্রানুসারে চক্রটি বিপরীত দিকে ঘুরিতে থাকিবে।

6-9. দুইটি পরিবাহীর পারস্পরিক ক্রিয়া (Action between two conductors carrying currents) : কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তাহার চারিপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এই কারণে দুইটি তড়িৎবাহী পরিবাহীকে কাছাকাছি রাখিলে তড়িৎপ্রবাহের জন্য দুইটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হইবে। এই চৌম্বকক্ষেত্র দুইটি পরস্পর পরস্পরের উপর প্রভাব বিস্তার করিবে যাহার ফলে পরিবাহী দুইটি একটি বল অনুভব করিবে। ইহাকে তড়িৎপ্রবাহের পারস্পরিক ক্রিয়া বলা হয়। পরিবাহী দুইটি কোন্ দিকে বল অনুভব করিবে তাহা ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভবপর। পরিবাহী দুইটির গতির অভিমুখ নিম্নলিখিত সূত্র দুইটির সাহায্যেও নির্ণয় করা যাইতে পারে (চিত্র 6ট) :



চিত্র—6ট

প্রথম সূত্র : দুইটি সমান্তরাল তড়িৎবাহীর ভিতর দিয়া একই দিকে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তাহাদের মধ্যে আকর্ষণ এবং বিপরীত দিকে ঘটিলে তাহাদের মধ্যে বিকর্ষণ হইবে।

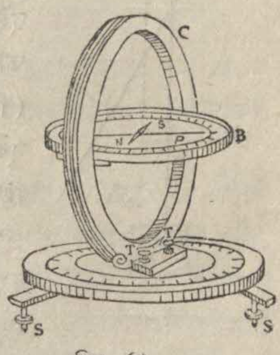
দ্বিতীয় সূত্র : দুইটি অসমান্তরাল পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ যদি একই সংগে সংযোগ বিন্দুর দিকে অথবা সংযোগ বিন্দু হইতে দূরের দিকে সংঘটিত হয় তাহা হইলে তাহাদের পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ ঘটিবে। যদি একটি পরিবাহীতে তড়িৎপ্রবাহ সংযোগবিন্দুর দিকে এবং অপরটিতে সংযোগবিন্দু হইতে দূরের দিকে সংঘটিত হয় তবে তাহাদের মধ্যে বিকর্ষণ হইবে।

6-10. রজেটের কম্পমান কুণ্ডলী (Roget's vibrating spiral) : দুইটি সমান্তরাল পরিবাহীর ভিতর দিয়া একই দিকে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তাহারা পরস্পরকে আকর্ষণ করিবে। ইহা রজেটের কম্পমান কুণ্ডলীর সাহায্যে দেখানো যাইতে পারে। উল্লম্ব ভাবে অবস্থিত সরু তামার একটি কুণ্ডলীর উপর প্রান্তটি একটি স্ক্রু সহিত আটকানো আছে। নীচের প্রান্তে একটি ছোট ধাতুর বল এমন ভাবে লাগানো আছে যাহাতে বলটি পাটাতনের উপর রক্ষিত পারদের সংস্পর্শে আসিতে পারে (চিত্র 6ণ)। বর্তনীটি সম্পূর্ণ করিয়া কুণ্ডলীটির ভিতর তড়িৎপ্রবাহ ঘটাইলে সন্নিহিত তারের

সাহায্যে ক্ষীণ তড়িৎপ্রবাহের অস্তিত্বও নির্ণয় করা সম্ভব। চুম্বকশলাকাটির বিক্ষেপের পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহের শক্তির উপর নির্ভর করিবে।

6-12 **গ্যালভানোমিটার** (Galvanometer) : গ্যালভানোস্কোপের তুলনায় গ্যালভানোমিটার অনেক সুবেদী এবং ইহার সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ নির্ণয় করা সম্ভব। সাধারণতঃ দুই ধরনের গ্যালভানোমিটার ব্যবহৃত হয়। যথা : (i) **চলচুম্বক গ্যালভানোমিটার** (Moving magnet galvanometer) এবং (ii) **চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার** (Moving coil galvanometer)। চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটারের উদাহরণ স্বরূপ ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটারের এবং চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের উদারণস্বরূপ ডি-আরসোনভ্যাল গ্যালভানোমিটার, অ্যাম্‌মিটার ও ভোল্টমিটারের নাম করা যাইতে পারে।

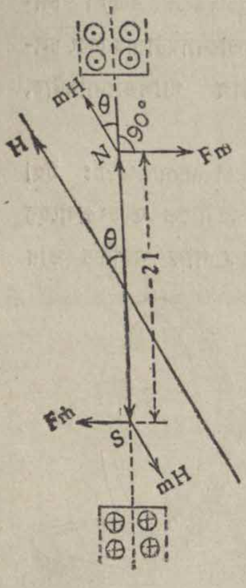
(i) **ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটার** (Tangent galvanometer) : ইহা চলচুম্বক ধরনের গ্যালভানোমিটার এবং ইহার সাহায্যে কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা মাপা হয়। এই যন্ত্রে একটি উল্লম্ব কাঠামোর খাঁজে কয়েক পাক অন্তরিত তার জড়াইয়া উহার প্রান্তদ্বয়কে অনুভূমিক (T, T) পাটাতনে অবস্থিত দুইটি সংযোজক স্ক্রুর সহিত আটকানো হয় (চিত্র 6থ)। উল্লম্ব কাঠামোটি নীচের পাটাতনের উপর অবস্থিত এবং উহা একটি উল্লম্ব অক্ষে চারিদিকে ঘুরিতে পারে। উল্লম্ব কাঠামোটি কি পরিমাণ ঘুরিল তাহা অংশাঙ্কিত বৃত্তাকার স্কেল হইতে জানা যাইতে পারে। কাঠামো C-এর কেন্দ্রস্থলে একটি অনুভূমিক কাচের গোল পাত্রে একটি ছোট চুম্বকশলাকা (N-S) রাখা থাকে।



চিত্র—6থ

শলাকাটির সহিত সমকোণে একটি লম্বা, সরু অ্যালুমিনিয়াম কাঁটা (P) আটকানো থাকে এবং উহারা একসঙ্গে অনুভূমিক তলে বৃত্তাকার স্কেল B-এর উপর দিয়া বাধাহীনভাবে ঘুরিতে পারে। বৃত্তাকার স্কেল হইতে সূচক P-এর পাঠ লইয়া চুম্বকশলাকাটির অবস্থান নির্ণয় করা সম্ভব। পাঠ লইবার সময় যাহাতে লম্বন ত্রুটি (parallax error) না ঘটে সেইজন্য সূচক P-এর নীচে একটি বৃত্তাকার সমতল দর্পণ রাখা হয়। লেভেলিং স্ক্রু S, S-এর সাহায্যে নীচের পাটাতনটিকে অনুভূমিক করা যাইতে পারে।

ব্যবহারবিধি (Adjustment) : ব্যবহারের পূর্বে লেভেলিং স্ক্রুর সাহায্যে নীচের পাটাতনটিকে অনুভূমিক করিয়া উল্লম্ব কাঠামোটিকে চৌম্বক মধ্যতলে রাখিতে হইবে। এই অবস্থায় অ্যালুমিনিয়াম সূচকটির পাঠ (0°—0°) হইবে। এইবার তারের কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে চুম্বকশলাকাটি বিক্ষিপ্ত হইবে। বিক্ষেপের পরিমাণ $\theta°$ হইলে, তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা এবং $\tan\theta$ পরস্পর সমানুপাতিক হইবে। সেইজন্য এই ধরনের গ্যালভানোমিটারকে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার বলা হয়।



চিত্র—6দ

কার্যনীতি (Theory) : r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট n সংখ্যক পাকের ভিতর দিয়া i পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে, কুণ্ডলীর কেন্দ্রস্থলে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের পরিমাণ, $F=\frac{2\pi ni}{r}$ হইবে। চৌম্বক শলাকার মেরু শক্তি m হইলে, প্রত্যেকটি মেরুর উপর mF বল ক্রিয়া করিবে। এই বল দুইটি পরস্পর সমান্তরাল কিন্তু বিপরীতমুখী হইবে এবং তাহারা কুণ্ডলীর তলের সহিত সমকোণে থাকিবে (চিত্র 6দ)। বল দুইটি সমান, সমান্তরাল কিন্তু বিপরীতমুখী হওয়ায় তাহারা চুম্বক শলাকাটির উপর দ্বন্দ্ব (couple) হিসাবে কাজ করিবে। এই দ্বন্দ্বটি চুম্বকশলাকাটিকে কুণ্ডলী তলের সহিত সমকোণে রাখিতে চেষ্টা করিবে। চুম্বক শলাকার বিক্ষেপের পরিমাণ $\theta°$ হইলে, দ্বন্দ্বটির গুরুত্ব (moment),

$$=mF\times NQ$$
$$=mF\times NS\sin(90°-\theta)$$
$$=mFNS\cos\theta.$$

চুম্বকশলাকাটি পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রে অবস্থিত হওয়ার জন্য ইহা শলাকাটিকে চৌম্বক মধ্যতলে ফিরাইয়া আনিতে চেষ্টা করিবে। ভূচৌম্বকত্বের অনুভূমিক প্রাবল্য H হইলে, শলাকাটির প্রত্যেকটি মেরুর উপর mH বল কাজ করিবে। তাহারা পরস্পর সমান, সমান্তরাল কিন্তু বিপরীতমুখী হওয়ার জন্য আর একটি দ্বন্দ্ব (couple) উৎপন্ন হইবে।

এই দ্বন্দ্বটির গুরুত্ব (moment)

$$= mH \times SQ = mH \times NS \cos (90^\circ - \theta)$$
$$= mH \times NS \sin \theta$$

শলাকাটির সাম্যাবস্থায় উপরোক্ত দণ্ড দুইটির গুরুত্ব সমান হইবে।

$$\therefore \quad mF \times NS \cos \theta = mH \times NS \sin \theta$$

বা, $F = H \tan \theta$ কিন্তু $F = 2\pi ni/r$

$$\therefore \quad i = \frac{H}{2\pi n/r} \tan \theta = \frac{H}{G} \tan \theta$$

এখানে $2\pi n/r = G$ ধরা হইল। যে কোন নির্দিষ্ট গ্যালভানোমিটারের ক্ষেত্রে, G একটি ধ্রুবক হইবে। সেইজন্য উহাকে **গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক** (Galvanometer constant) বলা হয়।

আবার, $\frac{H}{G} = K$ ধরিলে আমরা পাই, $i = K \tan \theta$

K ধ্রুবকটিকে গ্যালভানোমিটারটির **নির্ণায়ক উৎপাদক** (reduction factor) বলা হয়। কোন নির্দিষ্ট স্থানে যে কোন গ্যালভানোমিটারের ক্ষেত্রে K-এর মান ধ্রুবক হইবে।

উপরোক্ত সমীকরণ হইতে দেখা যায় যে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা এবং $\tan \theta$ পরস্পর সমানুপাতিক। সেইজন্য এই ধরনের গ্যালভানোমিটারকে **ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটার** বলা হয়।

মনে রাখিতে হইবে যে উপরোক্ত সমীকরণে তড়িৎপ্রবাহ তড়িচ্চুম্বকীয় এককে প্রকাশিত হইয়াছে। তড়িৎপ্রবাহ অ্যাম্পীয়ারে প্রকাশিত হইলে আমরা পাই, $I = 10\ K \tan \theta$ [$\because$ 10 অ্যাম্পীয়ার = 1 তড়িৎ-প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক।]

আমরা জানি, $\tan 0^\circ = 0$ এবং $\tan 90^\circ = \infty$ হয়। সুতরাং তড়িৎপ্রবাহের ফলে তারের কুণ্ডলী গলিয়া না গেলে এই ধরনের গ্যালভানোমিটারের সাহায্যে যে কোন মানের তড়িৎপ্রবাহ মাপা সম্ভব। কিন্তু, যন্ত্রটিকে সবচেয়ে সুবেদী করিতে হইলে, বিক্ষেপের পরিমাণ 45° হওয়া বাঞ্ছনীয়।

সাবধানতা (Precautions):

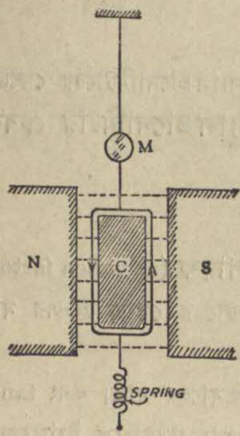
(i) চৌম্বক শলাকাটিকে দৈর্ঘ্যে খুব ছোট হইতে হইবে। নতুবা উহা সমচৌম্বক ক্ষেত্র (Uniform magnetic field)-এ অবস্থিত থাকিবে না।

(ii) উৎকেন্দ্রিক ত্রুটি দূর করার জন্য সূচকটির উভয় প্রান্তের পাঠ লওয়া উচিত।

(iii) কুণ্ডলী তলটি ঠিকমতো চৌম্বক মধ্যতলে না থাকিলে কিছু ত্রুটি দেখা

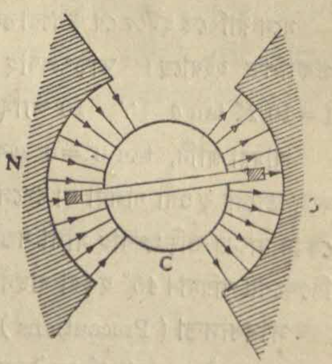
যাইবে। তাহা দূর করার জন্য তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করা উচিত। উভয় ক্ষেত্রে প্রাপ্ত ফলকে গড় করিলে তড়িৎপ্রবাহের নির্ণেয় পরিমাণ পাওয়া যাইবে।

(ii) **ডি-আরসোন্‌ভ্যাল গ্যালভ্যানোমিটার বা ঝুলন্ত চলকুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার** (D'Arsonval or suspension type moving coil galvanometer) : ডি-আরসোন্‌ভ্যাল এই যন্ত্রটি আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রে অ্যালুমিনিয়াম বা তামার আয়তাকার কাঠামোর উপর কয়েক পাক তামার অন্তরিত তার কুণ্ডলী আকারে থাকে। কাঠামোটিকে এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে উহা একটি স্থায়ী চুম্বকের মেরুদ্বয় N, S-এর অন্তর্বতী স্থানে উলম্ব অক্ষের চারিদিকে ঘুরিতে পারে (চিত্র 6ধ)। অন্তরিত তারের কুণ্ডলীকে ফস্‌ফোর ব্রোঞ্জের সরু তার অথবা পাতলা পাতের সাহায্যে ঝুলাইয়া রাখা হয় এবং কুণ্ডলীর নিম্নপ্রান্ত ফস্‌ফোর ব্রোঞ্জের তৈয়ারী একটি স্প্রীং-এর সহিত যুক্ত থাকে। ঝুলন রজ্জু অথবা স্প্রীং-এর ভিতর দিয়া কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ প্রবেশ করে এবং অন্যটির ভিতর দিয়া বাহির হইয়া যায়।



চিত্র—6ধ

কাঠামোর ভিতরে নরম লোহার একটি চোঙ (C) এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে কাঠামোটি চোঙটিকে স্পর্শ না করিয়া চৌম্বক মেরুদ্বয়ের ফাঁকে অবাধে ঘুরিতে পারে। চোঙটি নরম লোহার বলিয়া চৌম্বক বল রেখাগুলি উহার ভিতর কেন্দ্রীভূত হয় এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বৃদ্ধি পায়। চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মুখকে সমতল না করিয়া চোঙাকৃতি করা হয় (চিত্র 6ন)। ইহার ফলে চৌম্বক বল রেখাগুলি কুণ্ডলীর উল্লম্ব বাহুদ্বয়ের সহিত সর্বদা সমকোণে থাকিবে। ঝুলন রজ্জুতে একটি ছোট দর্পণ (M) আটকানো থাকে।



চিত্র—6ন

কার্যনীতিঃ কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহ ঘটিলে এবং উহাকে উল্লম্ব ভাবে কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে পরিবাহীটির উপর বল ক্রিয়া করিবে। পরিবাহীর দৈর্ঘ্য l, প্রবাহ মাত্রা i এবং উল্লম্ব চৌম্বক ক্ষেত্র H হইলে পরিবাহীর উপর ক্রিয়মান বলের পরিমাণ Hil হইবে। ফ্লেমিংএর বামহস্ত সূত্র দ্বারা বলের অভিমুখ নির্ণয় করা সম্ভব।

আলোচ্য ক্ষেত্রে কুণ্ডলীর উল্লম্ব বাহু দুইটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সহিত অভিলম্বে থাকে। কুণ্ডলীর পাক্ সংখ্যা N হইলে কুণ্ডলীর প্রত্যেকটি উল্লম্ব বাহুতে ক্রিয়মান বলের পরিমাণ, $F = NHil$ হইবে। কুণ্ডলীর বাহুদুইটিতে বলের পরিমাণ সমান হইবে কিন্তু বাহু দুইটিতে তড়িৎ প্রবাহ বিপরীত মুখী বলিয়া ক্রিয়মান বল দুইটি সমান কিন্তু বিপরীতমুখী হইবে। ইহার ফলে কুণ্ডলীর উপর একটি বিক্ষেপক দ্বন্দ্ব (deflecting couple) ক্রিয়া করে। কুণ্ডলীর প্রস্থ b এবং এই দ্বন্দ্বের ভ্রামক T_d হইলে,

$$T_d = F \times b = NHil \times b = NHiA$$

যেহেতু $l \times b = A =$ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল।

কুণ্ডলীর অনুভূমিক তারগুলি চৌম্বক বলরেখার সহিত সমান্তরালে থাকে বলিয়া উহাদের উপর কোন বল ক্রিয়া করিবে না। বিক্ষেপক দ্বন্দ্বের জন্য কুণ্ডলীটি ঘুরিয়া যাইবে এবং ইহার ফলে ঝুলন রজ্জুটি মোচড় খাইবে এবং কুণ্ডলীটিকে ঘুরিতে বাধা প্রদান করিবে। ঝুলন রজ্জুতে মোচড়ের জন্য বিপরীত মুখী একটি নিয়ন্ত্রক (controlling) দ্বন্দ্বের সৃষ্টি হইবে এবং বিক্ষেপের সহিত এই দ্বন্দ্বের পরিমাণ (T_c) বাড়িয়া যাইবে। সাম্যাবস্থায় বিক্ষেপের পরিমাণ θ ধরা হইল।

সেক্ষেত্রে, $T_c = C\theta$ যেখানে C একটি ধ্রুবক।

সাম্যাবস্থায় বিক্ষেপক-দ্বন্দ্ব এবং নিয়ন্ত্রক দ্বন্দ্ব পরস্পর সমান হইবে।

$$\therefore \; T_c \text{ বা, } NHiA = C\theta$$

$$\text{বা, } \; i = \frac{C}{NHA}\theta = k\theta \text{ যেখানে } k = \frac{C}{NHA} = \text{ধ্রুবক।}$$

$$\text{বা, } \; i \propto \theta$$

সুতরাং তড়িতের প্রবাহ-মাত্রা গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ কোণের সহিত সমানুপাতিক।

বাতি ও স্কেল-ব্যবস্থা (lamp and scale arrangement) অবলম্বন করিয়া বিক্ষেপ-কোণ মাপা হয়। এই ব্যবস্থার সাহায্যে আয়নার উপর সরু আলোকরশ্মি আপতিত করা হয়। কুণ্ডলীটি θ কোণে ঘুরিলে প্রতিফলিত রশ্মি 2θ কোণে ঘুরিয়া যাইবে।

সুবেদীত্ব (Sensitiveness) : নির্দিষ্ট প্রবাহ-মাত্রার জন্য বিক্ষেপ বেশী হইলে যন্ত্রটি বেশী সুবেদী হইবে। আমরা জানি, $i=k\theta=\frac{C}{NAH}\theta.$

সুতরাং, C-এর মান কম হইলে এবং N, A এবং H-এর মান বেশী হইলে যন্ত্রটি সুবেদী হইবে। ফস্‌ফারব্রঞ্জের প্রসার্য শক্তি (tensile strain) বেশী হইলেও C-এর মান কম। এই কারণে ঝুলনের ফস্‌ফারব্রোঞ্জ ব্যবহার করা হয়। N এবং A-কে বেশী বাড়ানো সম্ভব হয় না ; কারণ সেক্ষেত্রে যন্ত্রটির ভর, আয়তন ও রোধও বাড়িয়া যাইবে। H-এর মান বাড়িলে যন্ত্রটি সুবেদী হইবে। সেইজন্য চৌম্বকক্ষেত্রকে খুব জোরালো করা হয়। এই যন্ত্র খুব সুবেদী বলিয়া ইহার সাহায্যে খুব কম পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ (10^{-9} অ্যাম্পীয়ার) মাপা যায়। তড়িৎপ্রবাহ বেশী হইলে উপযুক্ত সাণ্ট ব্যবহার করিতে হইবে।

সুবিধা (Advantages) : (i) এই যন্ত্রে কোন চৌম্বকশলাকা ব্যবহৃত হয় না। সেইজন্য ইহার উপর ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন প্রভাব নাই এবং পরীক্ষার সময় যন্ত্রটিকে যে কোন অবস্থানে রাখা যায়।

(ii) এই যন্ত্রের চৌম্বকক্ষেত্র খুব জোরালো বলিয়া বাহিরের কোন চৌম্বকক্ষেত্র উহাকে বিশেষ প্রভাবিত করিতে পারে না।

(iii) এই যন্ত্রের সাহায্যে খুব ক্ষীণ তড়িৎপ্রবাহ মাপা সম্ভব।

(iv) এই যন্ত্রে বিক্ষেপের পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহের সমানুপাতিক। সেইজন্য তড়িৎপ্রবাহ মাপিবার জন্য যে অংশাঙ্কিত স্কেল ব্যবহার করা হয় তাহা সুষম হইয়া থাকে।

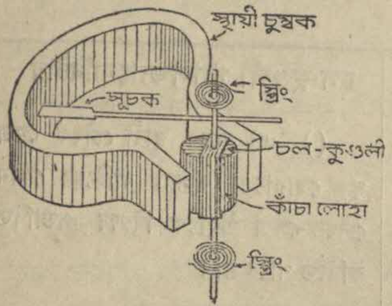
(v) তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে যন্ত্রটি বিক্ষিপ্ত হয়। তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করিলে যন্ত্রটি সাম্য অবস্থানে আসিতে চেষ্টা করে এবং দুলিতে থাকে। উপযুক্ত ব্যবস্থা অবলম্বন করিলে ইহাকে সহজেই সাম্য অবস্থানে ফিরাইয়া আনা যায়।

6-13. চল-চুম্বক ও চল-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের তুলনা (Comparison between moving magnet and moving coil galvanometer) :

চল-চুম্বক গ্যালভ্যানোমিটার	চল-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার
(i) এই যন্ত্রে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র নিয়ন্ত্রক ক্ষেত্র হিসাবে কাজ করে। ইহার প্রাবল্য কম বলিয়া বাহিরের কোন চৌম্বকক্ষেত্র ইহাকে প্রভাবিত করিতে পারে।	(i) এই যন্ত্রের স্থায়ী চৌম্বক ক্ষেত্র খুব জোরালো বলিয়া বাহিরের কোন চৌম্বক-ক্ষেত্র উহাকে বিশেষ প্রভাবিত করিতে পারে না।
(ii) ব্যবহারের সময় যন্ত্রটিকে চৌম্বক মধ্যতলে রাখিতে হয়।	(ii) ব্যবহারের সময় গ্যালভ্যানোমিটারটিকে যে কোন অবস্থানে রাখা যায়।
(iii) কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের জন্য যে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় তাহা বিক্ষেপক বল এবং ভূ-চৌম্বকক্ষেত্র নিয়ন্ত্রক বল হিসাবে কাজ করে।	(iii) এই যন্ত্রে স্থায়ী চৌম্বক-ক্ষেত্রের জন্য বিক্ষেপক বল এবং ঝুলন রজ্জুর জন্য নিয়ন্ত্রক বল কাজ করে।
(iv) চুম্বক শলাকাটি স্থির অবস্থানে আসিতে বেশ কিছু সময় নেয়।	(iv) উপযুক্ত ব্যবস্থা অবলম্বন করিয়া কুণ্ডলীটিকে তাড়াতাড়ি স্থির অবস্থানে আনা যায়।
(v) এই যন্ত্রের সাহায্যে 10^{-5} অ্যাম্পীয়ারের কম তড়িৎপ্রবাহ মাপা যায় না।	(v) এই যন্ত্রের সাহায্যে 10^{-9} অ্যাম্পীয়ার পর্যন্ত তড়িৎপ্রবাহ মাপা যায়।
(vi) নির্ণায়ক উৎপাদকের মান (H/G) পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হইবে।	(vi) এই যন্ত্রের ধ্রুবকের মান বিভিন্ন স্থানে একই হইবে।

6-14. নির্দেশক কাঁটা জাতীয় চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার (Moving coil galvanometer with pointer) : এই যন্ত্রে অ্যালুমিনিয়াম বা তামার

আয়তাকার কাঠামোর উপর কয়েক পাক তামার অন্তরিত তার কুণ্ডলীআকারে থাকে (চিত্র 6প)। কাঠামোটিকে এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে উহা একটি স্থায়ী চুম্বকের



চিত্র—6প

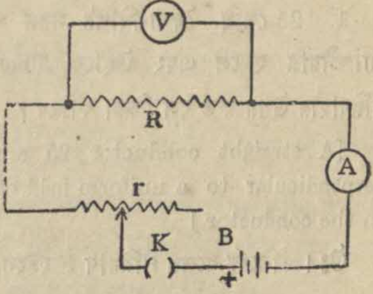
মেরুদ্বয়ের অন্তর্বতী স্থানে একটি উল্লম্ব-অক্ষের চারিদিকে ঘুরিতে পারে। কাঠামোর সহিত একটি হাল্কা সূচক দৃঢ়ভাবে আটকান থাকে। কাঠামোটি কোন কারণে ঘুরিয়া গেলে সূচকটিও ঘুরিয়া যাইবে। ঘূর্ণনের পরিমাণ একটি অংশাঙ্কিত বৃত্তাকার স্কেল (চিত্রে দেখান হয় নাই) হইতে পাওয়া যাইবে। কাঠামোটির উপরে এবং নীচে দুইটি স্প্রিং লাগান থাকে। ইহাদের একটির ভিতরদিয়া তড়িৎপ্রবাহ কুণ্ডলীতে প্রবেশ করে এবং অপরটি দিয়া বাহির হইয়া যায়। চৌম্বক-ক্ষেত্রের কুণ্ডলীটির ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহের ফলে কুণ্ডলীর উপর একটি দ্বন্দ্ব (couple) ক্রিয়া করিবে। ইহার ফলে সূচকটির বিক্ষেপ ঘটিবে। তড়িৎপ্রবাহ বেশী হইলে বিক্ষেপের পরিমাণও বেশী হইবে। এই ধরনের গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপের পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহের সহিত সমানুপাতিক হইবে।

6-15. অ্যাম্‌মিটার এবং ভোল্টমিটার (Ammeters and Voltmeters): কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ মাপিবার জন্য অ্যামমিটার ও বিভবপ্রভেদ মাপিবার জন্য ভোল্টমিটার ব্যবহৃত হয়। চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের কার্যনীতির উপর উভয় যন্ত্রই নির্ভর করে। যে কোন বর্তনীতে অ্যাম্‌মিটার শ্রেণী সমবায়ে সংযুক্ত থাকে। সুতরাং ইহার রোধ **খুব কম** হওয়া উচিত। কিন্তু কোন বর্তনীতে ভোল্টমিটার সমান্তরাল সমবায়ে ব্যবহৃত হয়। সেইজন্য ইহার রোধ উচ্চমান বিশিষ্ট এবং ইহার ভিতরে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা খুব কম হইয়া থাকে।

ব্যবহারিক ধরনের উপর নির্ভর করিয়া অ্যাম্‌মিটার ও ভোল্টমিটার বিভিন্ন প্রকারের উপর নির্ভর করে।

6-16. বর্তনীতে অ্যাম্‌মিটার ও ভোল্টমিটার (Ammeter and Voltmeter in a circuit): কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ মাপিবার জন্য অ্যাম্‌মিটারকে **শ্রেণী সমবায়ে** সংযুক্ত করা হইবে। কিন্তু বিভব প্রভেদ মাপিবার জন্য

ভোল্টমিটারকে **সমান্তরাল সমবায়ে** ব্যবহার করিতে হইবে। বর্তনীতে কি ভাবে অ্যাম্‌মিটার ও ভোল্টমিটার লাগানো উচিত তাহা (6ক নং চিত্রে) দেখানো হইয়াছে। এখানে A একটি অ্যাম্‌মিটার এবং V একটি ভোল্টমিটার। বর্তনীটিতে দুইটি কোষ, একটি চাবি K, পরিবর্তনীয় রোধ r এবং আরেকটি রোধ R দেখানো হইয়াছে। অ্যাম্‌মিটারের পাঠ হইতে বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ এবং ভোল্টমিটারের পাঠ হইতে রোধ R-এর বিভবপ্রভেদ জানা যাইবে।



চিত্র—6ক

6-17. অ্যামমিটার ও ভোল্টমিটারের তুলনা (Distinction between Ammeter and voltmeter) :

অ্যামমিটার	ভোল্টমিটার
(i) কোন বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ মাপিবার জন্য অ্যামমিটার ব্যবহৃত হয়।	(i) কোন বর্তনীর দুই বিন্দুর ভিতর বিভব-প্রভেদ মাপিবার জন্য ভোল্টমিটার ব্যবহৃত হয়।
(ii) অ্যামমিটার বর্তনীর সহিত শ্রেণী সমবায়ে সংযুক্ত থাকে বলিয়া উহার রোধ খুব কম হওয়া উচিত।	(ii) যে কোন বর্তনীতে ভোল্টমিটার সমান্তরাল সমবায়ে থাকে বলিয়া উহার রোধ উচ্চ মান বিশিষ্ট হওয়া উচিত।
(iii) শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত অ্যামমিটারের রোধ খুব কম বলিয়া মূল বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের বিশেষ কোন পরিবর্তন ঘটে না।	(iii) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত ভোল্টমিটারের রোধ খুব বেশী বলিয়া ইহার ভিতরে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা খুব কম থাকে এবং মূল বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহের বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না।

উদাহরণ

1. 25 সেমি. দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট সরল পরিবাহীর ভিতর দিয়া প্রবাহ মাত্রা 100 অ্যাম্পীয়ার হইলে এবং উহাকে 5000 গস শক্তি-বিশিষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে রাখিলে পরিবাহীর উপর কত বল ক্রিয়া করিবে ?

[A straight conductor 25 cm. long carries 100 ampers and lies perpendicular to a uniform field of 5000 gauss. Find the force acting on the conductor]

উঃ। নির্ণেয় বলের পরিমাণ F হইলে,

$$F=\frac{HIl}{10} \text{ ডাইন}=\frac{5000\times100\times25}{10}$$

$$=1\cdot25\times10^6 \text{ ডাইন।}$$

2. কোন ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারে তড়িৎপ্রবাহ 10 অ্যাম্পীয়ার হইলে বিক্ষেপের পরিমাণ 45° হয়। ঐ গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ 30° হইলে তড়িৎপ্রবাহ কত হইবে ?

[A current of 10 amperes produces a deflection of 45° in a tangent galvanometer. What is the value of the current which will produce a deflection of 30° in the same galvanometer ?]

উঃ। আমরা জানি, $I=10\,K\tan\theta$

এখানে, $I=10$; $\theta=45^\circ$

$\therefore\ 10K\tan45^\circ=10K.$ বা, $K=1.$

সুতরাং, 30° বিক্ষেপের জন্য তড়িৎপ্রবাহ I অ্যাম্পীয়ার হইলে,

$$I=10K\tan30^\circ=10\times1\times\frac{1}{\sqrt{3}}=5\cdot77 \text{ অ্যাম্পীয়ার।}$$

3. কোন ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের গড় ব্যাসার্দ্ধ 10 সেমি. এবং কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা 100 এবং বিক্ষেপের পরিমাণ 60° হইলে তড়িৎ-প্রবাহ নির্ণয় কর।

[$H=0\,37$; $\tan60^\circ=1\,7321$]

[A tangent galvanometer has 100 turns. their mean radius being ·10 cm. Calculate the current in amperes when the deflection is 60°. (H = 0·37 ; tan 60° = 1·7321)] [C. U.]

উঃ। এখানে, $H=0\cdot37$; $n=100$; $r=10$ সেমি. এবং $\theta=60^\circ$.

আমরা জানি, $I = 10 \times \frac{Hr}{2\pi n} \tan\theta$

$$= \frac{10 \times 0{\cdot}37 \times 10 \times 7}{2 \times 22 \times 100} \tan 60^{\circ}$$

$$= \frac{{\cdot}37 \times 7 \times 10 \times 10 \times 1{\cdot}7321}{2 \times 22 \times 100} = {\cdot}102$$ অ্যাম্পীয়ার

4. নির্দিষ্ট স্থানে নির্দিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের জন্য দুইটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ সমান। একটির গড় ব্যাসার্ধ 10 সেমি. এবং কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা 100। অপরটির কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা 75 হইলে গড় ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

[At a given place, the deflections in two galvanometers are the same when the same current flows through them. The first galvanometer has 100 turns, their mean radius being 10 cms. If the no. of turns of the second galvanometer be 75, then find out its mean radius]

উঃ। গ্যালভ্যানোমিটার দুইটির কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা যথাক্রমে n_1 ও n_2 এবং গড় ব্যাসার্ধ r_1 ও r_2 হইলে প্রদত্ত সর্তানুযায়ী,

$$I = 10 \times \frac{Hr_1}{2\pi n_1} \tan\theta = 10 \times \frac{Hr_2}{2\pi n_2} . \tan\theta$$

বা, $\frac{r_1}{n_1} = \frac{r_2}{n_2}$ বা, $r_2 = \frac{r_1 n_2}{n_1} = \frac{10 \times 75}{100} = 7{\cdot}5$ সেমি.

প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলিতে কি বুঝ? কোন পরীক্ষার সাহায্যে ইহা প্রতিপন্ন কর। তড়িৎপ্রবাহের জন্য উদ্ভূত চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কিরূপে নির্ণয় করিবে? [What do you mean by the magnetic effect of a current? Describe an experiment to demonstrate it. How will you find the direction of the magnetic field produced due to an electric current ?]

2. খাড়া অবলম্বনের উপর একটি ছোট চুম্বক শলাকা রাখা আছে। তড়িৎবাহী কোন তারকে শলাকাটির উপরে (a) অক্ষ বরাবর এবং (b) সমকোণে রাখিলে চুম্বক শলাকাটির অবস্থান কিরূপ হইবে তাহা ব্যাখ্যা কর। তড়িৎপ্রবাহের (a) পরিমাণ বাড়াইলে এবং (b) অভিমুখ বিপরীত করিলে কি ফল হইবে তাহা কারণ সহ লিখ। [A small magnetic needle is suspended on a vertical pivot. How would it place itself and why, when a wire carrying current is held

horizontally (a) along, (b) perpendicular to the magnetic needle about its centre ? Explain the effects observed. When the current is (a) increased in intensity, (b) reversed in direction, What will be the effect ? Why ?]

3. নিম্নলিখিত আকারের তড়িৎপ্রবাহের জন্য কি ধরনের চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হইবে তাহা লিখ: (i) ঋজুপরিবাহী, (ii) বৃত্তাকার পরিবাহী এবং (iii) সলিনয়েড। [Describe the nature of magnetic field due to current carrying conductor of following shape : (i) a straight conductor, (ii) a circular wire and (iii) solenoid.]

4. ডি. লা. রিভের ভাসমান ব্যাটারীর বর্ণনা এবং কার্যনীতি লিখ। [Describe the construction and working principle of a De. La. Rive's floating battery.]

5. তড়িচ্চুম্বকের বর্ণনা দাও এবং উহার ব্যবহার লিখ। তড়িচ্চুম্বক এবং স্থায়ী চুম্বকের মধ্যে পার্থক্য কি ? [Describe an electromagnet and state its uses. Distinguish between an electromagnet and a permanent magnet.]

6. তড়িৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়ার ব্যাপারে ল্যাপলাসের সূত্র লিখ। তড়িৎপ্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক কাহাকে বলে? তড়িচ্চুম্বকীয় এককের সহিত ব্যবহারিক এককের সম্পর্ক লিখ। [State Laplace's law in connection with magnetic effect of current. Define an electromagnetic unit of current and state its relationship with the practical unit.]

7. তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাব কি হইবে? ফ্লেমিং-এর বামহস্ত সূত্র লিখ। কয়েকটি পরীক্ষার সাহায্যে উহাদের আলোচনা কর। [What is the effect of magnetic field on a conductor carrying current ? State Fleming's left hand rule. Illustrate them with a few examples.]

8. বার্লোচক্রের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ বাড়াইলে অথবা উহার অভিমুখ পরিবর্তিত করিলে চক্রটির গতি কিরূপ হইবে ? [Describe a Barlow's wheel and explain its working principle. Discuss the effect on the motion of the wheel when the current is increased or it is reversed.]

9. দুইটি পরিবাহীর পারস্পরিক ক্রিয়া কি হইবে ? পরিবাহী দুইটির গতির অভিমুখ কিরূপে নির্ণয় করিবে। রজেটের কম্পমান কুণ্ডলীর বর্ণনা দাও এবং কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [What will be the action between two conductors carrying current ? State the laws to determine the direction of motion of the two conductors. Describe and explain the principle of a Roget's vibrating spiral.]

10. গ্যালভ্যানোমিটার কাহাকে বলে ? ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের বর্ণনা দাও এবং কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [What is a galvanometer ? Describe and explain the action of a tangent galvanometer.]

11. ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যকর সমীকরণ নির্ণয় কর। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কি ঘটিবে তাহা আলোচনা কর : (a) কুণ্ডলীতল যদি চৌম্বক মধ্যতলে না থাকে, (b) কুণ্ডলীতল

যদি উল্লম্ব না হয় এবং (c) যদি চৌম্বক শলাকাটি ছোট না হয়। [Describe a tangent galvanometer and deduce its equation. What happens (a) if the plane of the coil is not in the magnetic meridian, (b) if the plane of the coil is not vertical and (c) if the magnetic needle is not small.]

12. ঝুলন্ত চলকুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। প্রমাণ কর যে, তড়িতের প্রবাহের মাত্রা গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপকোণের সহিত সমানুপাতিক হইবে। [Describe and explain the working principle of a suspended type moving coil galvanometer. Prove that the current is proportional to the angle of deflection of the galvanometer.]

13. ডি-আরসোনভাল গ্যালভ্যানোমিটারের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যকর সূত্রটি নির্ণয় কর। এই ধরনের গ্যালভ্যানোমিটার ব্যবহারের সুবিধা কি কি? Describe a D' Arsonval galvanometer and deduce its working formula. What are the advantages of using such a galvanometer ?]

14. ঝুলন্ত চল-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের সুবেদীত্ব কিসের উপর নির্ভরশীল? চল-চুম্বক ও চল-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের তুলনা লিখ। [On what factors do the sensitiveness of a suspended type moving coil galvanometer depend. Compare a moving magnet galvanometer with a moving cvil galvanometer.]

15. নির্দেশক কাঁটা জাতীয় চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের বর্ণনা দাও। [Describe a moving coil galvanometer with pointer.]

16. অ্যাম্মিটার এবং ভোল্টমিটার কি কাজে ব্যবহৃত হয়। কোন্ বর্তনীতে অ্যাম্মিটার এবং ভোল্টমিটার কিরূপে যুক্ত করিবে? অ্যাম্মিটার এবং ভোল্টমিটারের তুলনা লিখ। [What are the uses of Ammeters and voltmeters. How will you connect an Ammeter and a voltmeter in a circuit? Distinguish between an Ammeter and a voltmeter.]

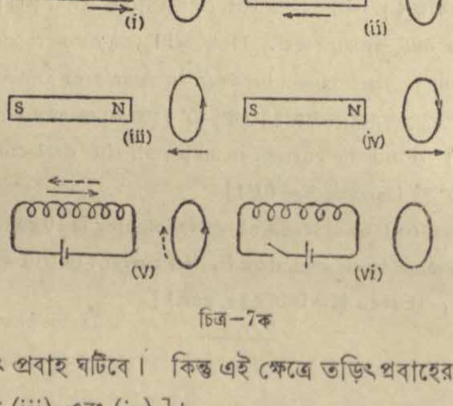
17. কোন ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ 45° হইলে অ্যাম্পীয়ারে তড়িৎপ্রবাহ নির্ণয় কর। (মনে কর, K='046)। [Find the current in ampere if the deflection of a tangent galvanometer be 45°? (assume K= 046).] [Ans. ·46A.]

18. The circular coil of a tangent galvanometer is 10 cm. in radius. How many turns of wire must be wounded on it, if a current of 0·01 amp. is to produce a deflection of 45°? (Given H=0·18 c.g.s. unit).] [Ans. 287]

সপ্তম অধ্যায়
তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ
(Electro-magnetic Induction)

7-1. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ (Electro-magnetic Induction): 1831 খ্রীষ্টাব্দে ফ্যারাডে পরীক্ষার সাহায্যে দেখিতে পান যে কোন চুম্বককে একটি বদ্ধকুণ্ডলীর দিকে আনিতে থাকিলে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে থাকিবে। চুম্বকটি যতক্ষণ গতিসম্পন্ন থাকিবে, তড়িৎপ্রবাহও ততক্ষণ ঘটিবে। কুণ্ডলী হইতে চুম্বকটিকে দূরে সরাইতে থাকিলেও কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। কিন্তু এই ক্ষেত্রে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত দিকে হইবে। [চিত্র 7 ক (i) এবং (ii)]। চুম্বক বা তজ্জাতীয় কোন বস্তুর সাহায্যে কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট করার ঘটনাকে **তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ** বলা হয়। এইভাবে উৎপন্ন তড়িৎপ্রবাহকে **আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ** (induced current) বলা হইয়া থাকে।

চুম্বকটিকে স্থির রাখিয়া কুণ্ডলীটিকে চুম্বকের দিকে আনিতে থাকিলেও কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে থাকিবে। কুণ্ডলীটিকে চুম্বক হইতে দূরে সরাইতে থাকিলেও



চিত্র—7ক

কুণ্ডলীটিতে তড়িৎ প্রবাহ ঘটিবে। কিন্তু এই ক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীত হইবে [চিত্র 7 ক (iii) এবং (iv)]।

তড়িৎবাহী কোন সলিনয়েডকে কুণ্ডলীটির নিকটে আনিলে বা উহা হইতে দূরে সরাইতে থাকিলেও কুণ্ডলীটিতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে থাকিবে [চিত্র 7ক (v)]।

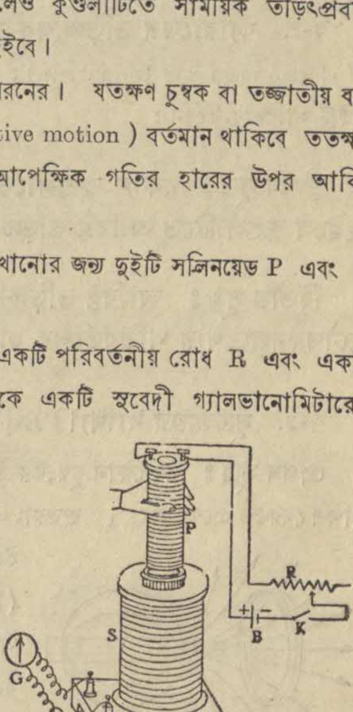
সলিনয়েডটিকে স্থির রাখিয়া কুণ্ডলীটিকে উহার দিকে আনিলে বা উহা হইতে সরাইতে থাকিলেও একই ঘটনা ঘটিবে।

[7-ক (vi)] নং চিত্রের বর্তনীতে একটি কোষ, একটি টেপা চাবি এবং একটি সলিনয়েড আছে। তাহার পাশে একটি তারের বদ্ধকুণ্ডলী আছে। টেপা চাবির সাহায্যে সলিনয়েড বর্তনীটিকে সংহত করিলে কুণ্ডলীটিতে সাময়িকভাবে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। সলিনয়েড বর্তনীটিকে বিচ্ছিন্ন করিলেও কুণ্ডলীটিতে সাময়িক তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে; কিন্তু ইহার অভিমুখ বিপরীত দিকে হইবে।

এই ভাবে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ ক্ষণস্থায়ী ধরনের। যতক্ষণ চুম্বক বা তজ্জাতীয় বস্তু এবং কুণ্ডলীর ভিতর আপেক্ষিক গতি (Relative motion) বর্তমান থাকিবে ততক্ষণ তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে থাকিবে। তাহাদের আপেক্ষিক গতির হারের উপর আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ নির্ভর করিবে।

পরীক্ষার সাহায্যে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ দেখানোর জন্য দুইটি সলিনয়েড P এবং S লওয়া হইল।

সলিনয়েড P-এর বর্তনীতে একটি কোষ, একটি পরিবর্তনীয় রোধ R এবং একটি চাবি K আছে। সলিনয়েড S-এর প্রান্ত-দ্বয়কে একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 7খ)। সলিনয়েড P-কে মুখ্য কুণ্ডলী (Primary coil) এবং S-কে গৌণ কুণ্ডলী (Secondary coil) বলা হয়। চাবিটির সাহায্যে বর্তনীকে সংহত করিলে মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। এক্ষণে ইহাকে গৌণ কুণ্ডলীর ভিতর ঢুকাইলে দেখা যাইবে যে গ্যালভানোমিটারটির বিক্ষেপ ঘটিতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে গৌণ কুণ্ডলীটিতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হইয়াছে। যতক্ষণ মুখ্য কুণ্ডলীটি গৌণ কুণ্ডলীটির ভিতর ঢুকিতে থাকিবে ততক্ষণ তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। গৌণ কুণ্ডলী হইতে মুখ্য কুণ্ডলীটিকে বাহিরে আনার সময়েও গ্যালভানোমিটারটির বিক্ষেপ ঘটিবে; কিন্তু এইক্ষেত্রে বিক্ষেপের অভিমুখ বিপরীত হইবে। মুখ্য কুণ্ডলীটিকে তাড়াতাড়ি ঢুকাইলে তাড়াতাড়ি বাহির করিলে বিক্ষেপ বাড়িয়া যাইবে।



চিত্র—7খ

মুখ্য কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলীর বাহিরে রাখিয়া বর্তনীটি বিচ্ছিন্ন করিলে দেখা যাইবে যে গ্যালভানোমিটারের সাময়িক বিক্ষেপ ঘটিতেছে। বর্তনীটিতে সংহত করিলেও গ্যানভানোমিটারের সাময়িক বিক্ষেপ ঘটিবে। কিন্তু বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হইবে।

বর্তনী সহ মুখ্য কুণ্ডলীর পরিবর্তে একটি স্থায়ী চুম্বকের সাহায্যেও পরীক্ষাটি করা সম্ভব। এই ক্ষেত্রে চুম্বকের জন্য তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হইবে।

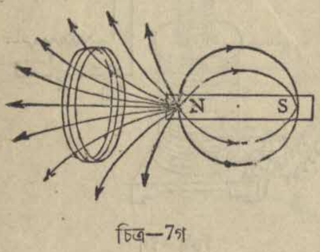
7-2. ফ্যারাডের তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলী (Faraday's laws of electro magnetic Induction) : পরীক্ষার সাহায্যে ফ্যারাডে নিম্নলিখিত সূত্র দুইটি আবিষ্কার করেন :

প্রথম সূত্র : কোন কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখা পরিবর্তিত হইলে কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হইবে।

দ্বিতীয় সূত্র : আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট চৌম্বকবলরেখার পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিত হইবে।

7-3. সূত্রদ্বয়ের ব্যাখ্যা (Explanation of the two laws) :

প্রথম সূত্র : যে কোন চুম্বকের উত্তর মেরু হইতে বলরেখা বাহির হয় এবং দক্ষিণ মেরুতে প্রবেশ করে। সুতরাং একটি চুম্বকের নিকটে কোন কুণ্ডলীকে রাখিলে ইহার সহিত কতকগুলি বলরেখা সংশ্লিষ্ট হইবে (চিত্র 7গ)। চুম্বকটিকে কুণ্ডলীর দিকে আগাইয়া আনিলে কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখাগুলির সংখ্যা বৃদ্ধি পাইবে। কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখা পরিবর্তিত হওয়ার জন্য উহাতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। কুণ্ডলী হইতে চুম্বকটিকে দূরে সরাইতে থাকিলে কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখার সংখ্যা কমিয়া যাইবে। ফলে এক্ষেত্রেও তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। 7ক নং চিত্রের ঘটনাগুলিকেও এইভাবে ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে।



চিত্র—7গ

দ্বিতীয় সূত্র : ধর কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে কোন কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিমাণ N_1 হইল। t সময় পরে উহা N_2 হইলে কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট বলরেখার

পরিবর্তনের হার, $\frac{N_2 - N_1}{t}$ হইবে। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল e হইলে ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে আমরা পাই,

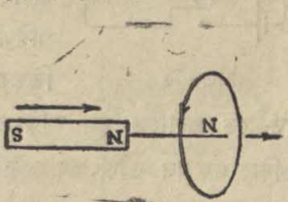
$$e \propto \frac{N_2 - N_1}{t}.$$

সুতরাং সংশ্লিষ্ট বলরেখার নির্দিষ্ট পরিবর্তন অল্প সময়ের ভিতরে সংঘটিত হইলে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ বেশী হইবে। সুতরাং উপরোক্ত চুম্বকটিকে খুব তাড়াতাড়ি কুণ্ডলীর দিকে আগাইয়া আনিলে বেশী পরিমাণ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে।

7-4. লেঞ্জের সূত্র (Lenz's law): এই সূত্রের সাহায্যে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ফলে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় করা সম্ভব। ইহাকে অনেক সময় তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের তৃতীয় সূত্র নামেও অভিহিত করা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ:

তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের জন্য আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এমন হইবে যে উহা আবেশের কারণকে বাধা প্রদান করিবে।

কোন চুম্বকের উত্তর মেরুকে একটি কুণ্ডলীর দিকে আনিতে থাকিলে কুণ্ডলীটিতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হইবে। কুণ্ডলীর দিকে উত্তর মেরুর আগমনকে আবেশের কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে। সুতরাং কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এমন হইবে যাহার ফলে কুণ্ডলীর দিকে উত্তর মেরুটির আগমন বাধা পাইবে। ইহা সম্ভব করিতে হইলে চুম্বকটির দিকে অবস্থিত কুণ্ডলীপ্রান্তকে উত্তরমেরু হিসাবে আচরণ করিতে হইবে। সুতরাং চুম্বক হইতে কুণ্ডলীর দিকে তাকাইলে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বামাবর্তী (anticlock-wise হইবে (চিত্র 7ঘ)।

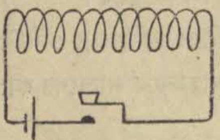


চিত্র—7ঘ

চুম্বকটি দূরে সরিতে থাকিলে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ চুম্বকটির চলিয়া যাওয়াকে বাধা প্রদান করিবে। সে ক্ষেত্রে চুম্বকের দিকে অবস্থিত কুণ্ডলী প্রান্তকে দক্ষিণ মেরু হিসাবে কাজ করিতে হইবে। সুতরাং সেক্ষেত্রে চুম্বক হইতে কুণ্ডলীর দিকে তাকাইলে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ দক্ষিণাবর্তী (clock-wise) বলিয়া

মনে হইবে। অন্যান্য ক্ষেত্রে অনুরূপ ভাবে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় করা সম্ভব। শক্তির সংরক্ষণ নীতির সাহায্যে লেঞ্জের সূত্র প্রমাণ করা যাইতে পারে। 7ঘ নং চিত্রে চুম্বকটির উত্তরমেরুকে কুণ্ডলীটির দিকে লইয়া যাওয়া হইতেছে। ফ্যারাডের সূত্রানুসারে কুণ্ডলীটিতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। লেঞ্জের সূত্রানুসারে কুণ্ডলীটির যে প্রান্ত চুম্বকের দিকে আছে সেই প্রান্তে তড়িৎপ্রবাহ বামাবর্তী হইবে। বামাবর্তী না হইয়া দক্ষিণাবর্তী হইলে কুণ্ডলার ঐ প্রান্তটি দক্ষিণ মেরু হিসাবে কাজ করিবে এবং আবেশী উত্তর মেরুকে আকর্ষণ করিতে থাকিবে। ফলে আবেশী চুম্বকটিকে সামান্য পরিমাণ আগাইয়া দিলেই কুণ্ডলীটি উহাকে আকর্ষণ করিয়া লইয়া আসিবে। সুতরাং অল্প পরিমাণ শক্তির পরিবর্তে ইচ্ছামত অনেক শক্তি পাওয়া যাইবে। কিন্তু শক্তির সংরক্ষণ নীতি অনুসারে ইহা সম্ভব নহে। সুতরাং কুণ্ডলীটিতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ লেঞ্জের সূত্র মানিয়া চলিবে।

7-5. **স্বকীয় আবেশ** বা **স্বাবেশ** (Self-Induction): কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তাহার চারিপাশে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। সুতরাং, কোন কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলেও তাহার চারিপাশে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হইবে এবং কিছু পরিমাণ চৌম্বক বলরেখা কুণ্ডলীর সহিত জড়িত হইয়া পড়িবে। বর্তনীটিতে তড়িৎ-প্রবাহ পরিবর্তিত হইলে কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখাও পরিবর্তিত হইবে। এইরূপ পরিবর্তনের সময় কুণ্ডলীর ভিতর বিপরীত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় এবং বর্তনীতে প্রবাহিত মূল তড়িৎপ্রবাহকে বাধা দেয়। তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধির জন্য উদ্ভূত তড়িচ্চালক বল তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধিকে বাধা দিবে এবং তড়িৎপ্ররাহ কমিতে থাকিলে ঐ তড়িচ্চালক বল প্রবাহ-মাত্রার কমিয়া যাওয়াকে বাধা প্রদান করিবে। এই ধরনের ঘটনাকে **স্বাবেশ** বলা হয় এবং তড়িৎ বর্তনী যে ধর্মের জন্য বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহের মাত্রার পরিবর্তনকে বাধা দেয় তাহাকে **স্বাবেশ ধর্ম** (Self Inductance) বলা হয়।



চিত্র—7ঙ

7ঙ নং চিত্রে একটি তড়িৎ-বর্তনী দেখানো হইয়াছে। চাবিটি খোলা থাকিলে বর্তনীতে কোন তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে না; ইহার ফলে তড়িৎ-প্রবাহের জন্য কোন চৌম্বক বল রেখা থাকিবে না এবং কুণ্ডলীতেও কোন বলরেখা জড়িত হইবে না। চাবি টিপিলে তড়িৎপ্রবাহের জন্য চৌম্বক বলরেখার সৃষ্টি হইবে

এবং কিছু পরিমাণ বলরেখা কুণ্ডলীটির সহিত সংশ্লিষ্ট হইবে। কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট বলরেখা পরিবর্তিত হওয়ার জন্য আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হইবে এবং ইহা আবেশের কারণ অর্থাৎ তড়িৎপ্রবাহের বৃদ্ধিকে বাধা প্রদান করিবে। চাবিটি খুলিয়া দিলে কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট বলরেখা কমিতে থাকিবে এবং এই কারণে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহের কমিয়া যাওয়াকে বাধা প্রদান করিবে।

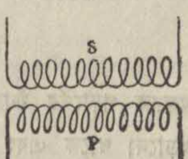
কুণ্ডলীতে যে কোন মুহূর্তে তড়িৎপ্রবাহ i এবং সংশ্লিষ্ট বলরেখা N হইলে আমরা বলিতে পারি,

$$N \propto i \text{ বা, } N = Li.$$

এখানে L একটি ধ্রুব রাশি এবং ইহাকে কুণ্ডলীর **স্বাবেশ গুণাঙ্ক** (Co-efficient of self-induction) বলা হয়। ইহার মান কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা ব্যাসার্ধ ইত্যাদির উপর নির্ভরশীল। উপরের সমীকরণে $i=1$ বসাইলে, $N=L$ হইবে। সুতরাং কোন কুণ্ডলীতে একক মাত্রা তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখা সংখ্যাগত ভাবে ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশ গুণাঙ্কের সমান হইবে।

স্বাবেশ গুণাঙ্কের পরম একক 1 ই. এম. ইউ. (e.m.u.) এবং ব্যবহারিক একক 1 হেনরি (Henry)।

7-6. পারস্পরিক আবেশ (Mutual Induction) **:** 7চ নং চিত্রে দুইটি তারের কুণ্ডলী P এবং S-কে পাশাপাশি দেখানো হইয়াছে। P কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তিত হইলে S কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখা পরিবর্তিত হইবে। ইহার ফলে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে এবং তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তনকে বাধাপ্রদান করিবে। এই ধরনের ঘটনাকে **পারস্পরিক আবেশ** (Mutual Induction) বলা হয়।



চিত্র—7চ

যে কোন মুহূর্তে P কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ i এবং S কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট বলরেখা N হইলে আমরা বলিতে পারি,

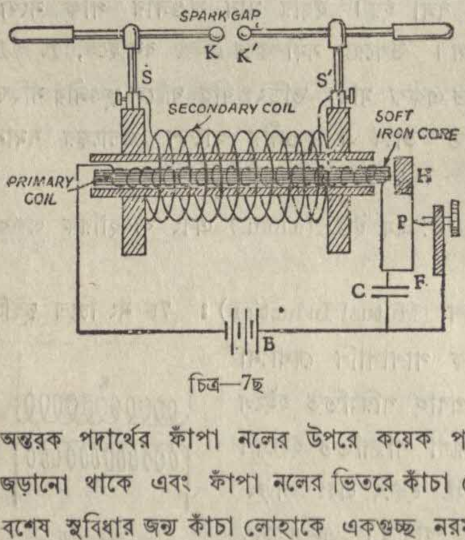
$$N \propto i \text{ বা, } N = Mi$$

এখানে M একটি ধ্রুব রাশি এবং ইহাকে কুণ্ডলীদ্বয়ের **পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক** (Co-efficient of Mutual Induction) বলা হয়। ইহার মান কুণ্ডলী দুইটির পাক সংখ্যা, ব্যাসার্ধ, পারস্পরিক দূরত্ব, মজ্জা (core) ইত্যাদির উপর

নির্ভরশীল। উপরের সমীকরণে $i=1$ বসাইলে $N=M$ হইবে। সুতরাং কোন কুণ্ডলীতে একক মাত্রা তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে অন্য কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখা সংখ্যাগত ভাবে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক সূচিত করিবে। কুণ্ডলীদ্বয়ের যে কুণ্ডলীতে মূল তড়িৎপ্রবাহ চালু থাকে তাহাকে **মুখ্য কুণ্ডলী** (Primary coil) এবং অপরটিকে **গৌণ কুণ্ডলী** (Secondary coil) বলা হয়।

পারস্পরিক গুণাঙ্কের পরম একক 1 ই. এম. ইউ. (e.m.u.) এবং ব্যবহারিক একক 1 হেনরি (Henry)।

7-7. **রুম্‌কর্ফের আবেশ কুণ্ডলী** (Ruhmkorff's Induction coil): এই যন্ত্রের কার্যকারিতা পারস্পরিক আবেশের নীতির উপর নির্ভরশীল এবং ইহার সাহায্যে অল্প বিভবের বেশী মাত্রার তড়িৎপ্রবাহকে উচ্চ বিভবের অল্প মাত্রার তড়িৎপ্রবাহে রূপান্তরিত করা হয়। 7ছ নং চিত্রে এই যন্ত্রের গঠন প্রণালী দেখানো হইয়াছে। নিম্নে ইহার গঠন ও কার্য প্রণালীর বর্ণনা দেওয়া হইল:



চিত্র—7ছ

(a) **মুখ্য কুণ্ডলী** (Primary coil): কোন অন্তরক পদার্থের ফাঁপা নলের উপরে কয়েক পাক অন্তরিত মোটা তামার তার জড়ানো থাকে এবং ফাঁপা নলের ভিতরে কাঁচা লোহার মজ্জা রাখা হয়। কয়েকটি বশেষ সুবিধার জন্য কাঁচা লোহাকে একগুচ্ছ নরম লোহার তার হিসাবে রাখা হয়। তারগুলি পরস্পর হইতে অন্তরিত থাকে। কাঁচা লোহার মজ্জা চৌম্বক বলরেখাগুলিকে ঘনীভূত করে এবং উহা তড়িৎ-চুম্বক হিসাবেও কাজ করে। মুখ্য-কুণ্ডলীর তারগুলি মোটা বলিয়া উহার রোধ কম এবং উহার ভিতর বেশী মাত্রার তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলেও তারগুলি গলিয়া যাইবে না।

(b) **গৌণ কুণ্ডলী** (Secondary coil): মুখ্য কুণ্ডলীর সমাক্ষে অপর একটি অন্তরক চোঙের উপর খুব সরু তামার তার পেঁচিয়ে গৌণ কুণ্ডলী তৈয়ারী করা হয়। গৌণ কুণ্ডলীতে তারের অনেকগুলি পাক থাকে এবং তাহাদিগকে

বিভিন্ন স্তরে পেঁচানো হয়। পাকের তারগুলি ভালভাবে অন্তরিত করা থাকে। গৌণ-কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় (S, S') দুইটি পিতলের দণ্ডের সহিত যুক্ত থাকে। দণ্ড দুইটির মাথায় দুইটি ধাতব গোলক (K, K') বিদ্যমান এবং প্রয়োজন অনুসারে উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব পরিবর্তিত করা হইয়া থাকে। গৌণ কুণ্ডলীর রোধ অপেক্ষাকৃত ভাবে অনেক বেশী।

(c) **স্পর্শ ছেদক** (Interrupter) : 7ছ চিত্রে H একটি কাঁচা লোহার হাতুড়ি এবং FH একটি স্প্রিং সূচিত করিতেছে। মুখ্য কুণ্ডলীর একপ্রান্ত ব্যাটারীর একটি মেরুর সহিত এবং অপর প্রান্ত FH এবং H-এর মধ্য দিয়া ব্যাটারীর অন্য মেরুর সহিত যুক্ত থাকে। এই ব্যবস্থার সাহায্যে মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ স্বয়ংক্রিয় ভাবে চালু এবং বন্ধ করা যায়। যন্ত্রটি যখন কার্যরত থাকে তখন P বিন্দুতে স্ফুলিঙ্গ দেখা দেয় এবং ঐ স্থলটি তাড়াতাড়ি ক্ষয় হইয়া যায়। এই কারণে P বিন্দুতে প্ল্যাটিনাম লাগানো থাকে।

(d) **ধারক** (Condenser) : মূল বর্তনীর সহিত সমান্তরাল সমবায়ে উপযুক্ত মানের ধারক (C) রাখা হয়। ইহার জন্য স্ফুলিঙ্গের তীব্রতা কমিয়া যায় এবং মূলবর্তনী ছিন্ন করিলে মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহ তাড়াতাড়ি শূন্য হইয়া যায়।

(e) **কমুটেটর** (Commutator) : এই ব্যবস্থার সাহায্যে মূল-বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ শুরু করা, বন্ধ করা অথবা বিপরীতমুখী করা যায়। চিত্রে কমুটেটর দেখানো হয় নাই।

কার্য-প্রণালী (Action) : মূল-বর্তনী চালু করিলে মুখ্য কুণ্ডলীর ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে এবং কাঁচা লোহার মজ্জা সাময়িক ভাবে চুম্বকায়িত হইবে। ইহার ফলে কাঁচা-লোহার হাতুড়ি (H) আকর্ষিত হইবে এবং P বিন্দুতে মূল বর্তনী বিচ্ছিন্ন হওয়ার জন্য মূল তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইয়া যাইবে। ফলে কাঁচা লোহার মজ্জা চুম্বকত্ব হারাইবে এবং হাতুড়িটি স্বাভাবিক স্থানে ফিরিয়া যাইয়া মুখ্য বর্তনীকে পুনরায় সম্পূর্ণ করিবে। মূল-বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের জন্য মজ্জাটি পুনরায় চুম্বকায়িত হইবে এবং স্বয়ংক্রিয় ভাবে উপরের বর্ণিত ঘটনাগুলির পুনরাবৃত্তি ঘটিতে থাকিবে।

মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ বাড়িতে থাকিলে গৌণ কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট বলরেখা পরিবর্তিত হইতে থাকিবে এবং গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। অনুরূপভাবে মুখ্যবর্তনীকে ছিন্ন করিলে মুখ্য তড়িৎপ্রবাহ কমিয়া শূন্যে পরিণত হইবে। ইহার ফলে গৌণ কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখার মানও শূন্য হইয়া যাইবে। সুতরাং

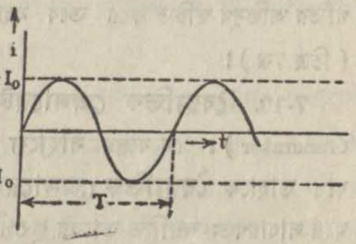
গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। কিন্তু এই সময়ে তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ বিপরীত দিকে হইবে। তাছাড়া গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ মূল বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তনের হারের উপর নির্ভরশীল। মূলবর্তনী বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় P বিন্দুতে সামান্য বায়ুন্তর দেখা যায়। ইহার ফলে মূলবর্তনীর রোধ অনেক বাড়িয়া যায় এবং তড়িৎ-প্রবাহের মান খুব তাড়াতাড়ি শূন্য হইয়া যায়। ধারক থাকার জন্য এই পরিবর্তনের হার আরও বাড়িয়া যায়। এই সমস্ত কারণে মূলবর্তনী বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহার পরিমাণ বর্তনী সম্পূর্ণ হওয়ার সময় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ অপেক্ষা অনেক বেশী হইয়া থাকে। এই যন্ত্রে গৌণ কুণ্ডলীর দুইপ্রান্তে পরিবর্তী (Alternating) তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইলেও বর্তনী বিচ্ছিন্ন হওয়ার সময় উচ্চমানের আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলকে কাজে লাগানো হয়। সেক্ষেত্রে আমরা একমুখী সবিরাম (Intermittent) উচ্চমানের তড়িচ্চালক বল পাইয়া থাকি।

আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ গৌণ কুণ্ডলীর মোট পাকসংখ্যা এবং সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের হারের উপর নির্ভর করে। কিন্তু উহা কুণ্ডলীর রোধের উপর নির্ভরশীল নহে। গৌণ কুণ্ডলীর রোধ অনেক বেশী বলিয়া উহাতে তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ খুব কম হইবে। এই যন্ত্রের সাহায্যে দশহাজার ভোল্ট হইতে এক লক্ষ ভোল্টের মত বিভব-পার্থক্য সৃষ্টি করা যায়।

ব্যবহার (Uses) : এই যন্ত্রকে গ্যাসের তড়িৎ মোক্ষণ বিষয়ে গবেষণার জন্য, এক্স-রশ্মি উৎপাদনে, গ্যাসের বর্ণালী পর্যালোচনার কাজে লাগানো যাইতে পারে। তাছাড়া অন্তর্দহন ইঞ্জিনে স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করার জন্য আবেশ কুণ্ডলী ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

7-8. **পরিবর্তী প্রবাহ** (Alternating current) : তড়িৎ-প্রবাহ যদি সবসময়ে একই অভিমুখে প্রবাহিত হয় তবে ঐ তড়িৎ-প্রবাহকে সমপ্রবাহ বলে। কিন্তু যে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ পর্যায়ক্রমে পরিবর্তিত হয় এবং যে তড়িৎ-প্রবাহ নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে নির্দিষ্ট পরিবর্তন চক্রের (cycle of changes) মধ্য দিয়া যায় তাহাকে **পরিবর্তী প্রবাহ** বলা হয়। একটি পরিবর্তন চক্র সম্পূর্ণ করিতে তড়িৎ-প্রবাহের যে সময় লাগে তাহাকে উহার **পর্যায় কাল** (periodic time) বলে। ইহা সাধারণতঃ T দ্বারা সূচিত হয়। প্রতি সেকেণ্ডে তড়িৎ-প্রবাহ যতগুলি পরিবর্তন চক্র সম্পূর্ণ করে তাহাকে উহার **কম্পাংক** (Frequency) বলা হয়। ইহা সাধারণতঃ f দ্বারা সূচিত হইয়া থাকে। সময়ের সহিত পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এবং পরিমাণও

পরিবর্তিত হইতে থাকে এবং পর্যায় কালের পরে আবার পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে। পর্যায় কালের শুরুতে তড়িৎপ্রবাহ ক্রমশঃ শূন্য হইতে বাড়িতে থাকে এবং সর্বোচ্চমান I_o লাভ করে (চিত্র 7জ)। তাহার পর তড়িৎ-প্রবাহের মান ক্রমশঃ কমিয়া পর্যায় কালের অর্ধেক সময়ে শূন্যমানে ফিরিয়া আসে। পর্যায় কালের দ্বিতীয়ার্ধে তড়িৎ-প্রবাহের মান আবার বিপরীত দিকে বাড়িতে থাকে এবং ঋণাত্মক সর্বোচ্চ মান $(-I_o)$ লাভ করে। তাহার পর উহার মান ক্রমশঃ কমিয়া পর্যায় কালের অবসানে শূন্যে পরিণত হয়। পরবর্তী পর্যায় কালে পূর্বের ঘটনার পুনরাবৃত্তি ঘটে। তড়িৎপ্রবাহের সর্বোচ্চ মান I_o, কম্পাঙ্ক f, সময়ের পরিমাণ t এবং সেই সময়ে তড়িৎপ্রবাহের মান i হইলে প্রমাণ করা যায় যে,



চিত্র—7জ

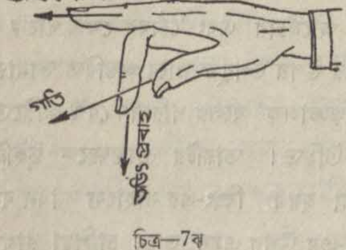
$$i = I_o \sin 2\pi ft$$

পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের ক্ষেত্রে উপরের সমীকরণটি নিম্নলিখিত আকার ধারণ করে :

$$e = E_o . \sin 2\pi ft.$$

কোন বর্তনীতে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করিলে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যাইবে। নির্দিষ্ট কৌণিক বেগে কোন কুণ্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে ঘুরাইলে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়। তড়িৎ-উৎপাদক যন্ত্রের কার্য প্রণালী এই নীতির উপর নির্ভরশীল।

7-9. ফ্লেমিং-এর দক্ষিণহস্ত সূত্র (Fleming's Right-hand Rule) :



চিত্র—7ঝ

চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর কোন পরিবাহীকে সঞ্চালিত করিলে ইহার সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখা পরিবর্তিত হইবে। ফলে পরিবাহীটিতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। উপযুক্তভাবে পরিবাহী বর্তনীকে সংহত করিলে পরিবাহীর ভিতর দিয়া আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে। ফ্লেমিং-এর দক্ষিণহস্ত সূত্র সাহায্যে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় করা যাইতে পারে। সূত্রটি

নিম্নরূপ : দক্ষিণ হস্তের প্রথম তিনটি অঙ্গুলি পরস্পরের সহিত সমকোণে রাখিয়া প্রসারিত করিলে তর্জনী এবং বৃদ্ধাঙ্গুলি যদি যথাক্রমে চৌম্বকক্ষেত্র এবং পরিবাহীর গতির অভিমুখ স্থচিত করে তবে মধ্যমা আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের দিকনির্দেশ করিবে (চিত্র 7ঝ)।

7-10. বৈদ্যুতিক জেনারেটার বা তড়িতোৎপাদক যন্ত্র (Electric Generator) : যে যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায় তাহাকে **বৈদ্যুতিক জেনারেটার** বা **তড়িতোৎপাদক যন্ত্র** বলা হয়। এই যন্ত্রে সাধারণতঃ অন্তরিত তারের কুণ্ডলীকে কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে ঘুরানো হয়। কুণ্ডলীটি ঘোরার জন্য উহাতে সংশ্লিষ্ট বলরেখাগুলি পরিবর্তিত হয়। তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ফলে কুণ্ডলীটিতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। ইহার অভিমুখ ফ্লেমিং-এর দক্ষিণহস্ত স্থত্র সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব। কুণ্ডলীটি ঘুরাইবার ব্যবস্থা হিসাবে ষ্টীম ইঞ্জিন, ষ্টীম টার্বাইন (Steam turbine) বা ডিজেল এঞ্জিন ব্যবহৃত হইতে পারে। তাছাড়া উঁচু জায়গাতে জল থাকিলে উহার ভিতর অভিকর্ষজ স্থিতি শক্তি বিদ্যমান থাকিবে। এই শক্তির সাহায্যেও জেনারেটারকে ঘুরাইয়া বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করা সম্ভব। এইভাবে উৎপন্ন বিদ্যুৎকে জল-বিদ্যুৎ (hydro-electricity) বলা হয়। অধুনা আণবিকশক্তির সাহায্যেও তড়িৎশক্তি উৎপাদন করা সম্ভব হইতেছে।

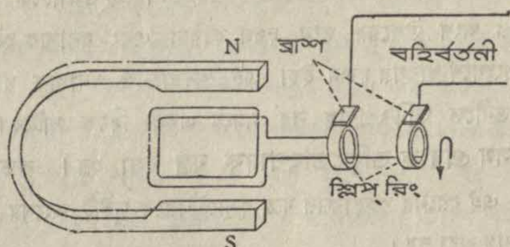
তড়িতোৎপাদক যন্ত্র সাধারণতঃ দুই প্রকার। যথা :

(a) **অলটারনেটার** বা **পরিবর্তী তড়িতোৎপাদক যন্ত্র** (Alternator বা A. C. Generator) এবং (b) **সমপ্রবাহ তড়িতোৎপাদক যন্ত্র** বা **ডায়নামো** (D. C. Generator বা Dynamo)।

7-11. অলটারনেটার বা পরিবর্তী তড়িতোৎপাদক যন্ত্র (Alternator বা A. C. Generator) : এই যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তির পরিবর্তে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করা হয়। ইহাতে একটি আর্মেচার এবং চৌম্বক ক্ষেত্র থাকে। কাঁচা লোহার পাতলা পাত দিয়া প্রস্তুত চোঙের উপর উপযুক্ত ভাবে অন্তরিত তামার তার জড়াইয়া আর্মেচার তৈয়ারী করা হয়। তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ বেশী করিতে হইলে তারের পাকের সংখ্যা বেশী হওয়া উচিত। তারটির প্রান্তদ্বয়কে দুইটি স্লিপ রিং (slip ring)-এর সহিত সংযুক্ত করা হয়। স্প্রিং-এর সাহায্যে কার্বন বা তামার তৈয়ারী ব্রাশ (brush) গুলিকে স্লিপ রিং-এর উপর এমন ভাবে চাপিয়া রাখা হয় যাহাতে আর্মেচারের সহিত স্লিপ-রিংগুলি ঘুরিলেও ব্রাশগুলি নির্দিষ্ট জায়গায়

স্থির থাকিবে। স্লিপ রিং হইতে ব্রাশগুলির সাহায্যে বহির্বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করিবার জন্য এই সব যন্ত্রে সাধারণতঃ তড়িচ্চুম্বক ব্যবহৃত হইয়া থাকে। বৃহদাকার পরিবর্তী তড়িতোৎপাদক যন্ত্রে আর্মেচারটি স্থির থাকে এবং চৌম্বক ক্ষেত্রটিকে ঘুরানোর ব্যবস্থা থাকে।

7 (ঞ) নং চিত্রে একটি প্রাথমিক ধরনের পরিবর্তী জেনারেটার দেখানো হইয়াছে। একটি স্থায়ী চুম্বকের ক্ষেত্রে তারের কুণ্ডলীটিকে ঘুরানো হয়। কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় দুইটি স্লিপ রিং-এর সঙ্গে যুক্ত আছে। ব্রাশের সাহায্যে স্লিপ রিং হইতে বহির্বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয়। চিত্রানুযায়ী কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিমাণ সর্বনিম্ন। কুণ্ডলীটিকে 90° ঘুরাইলে উহার সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিমাণ

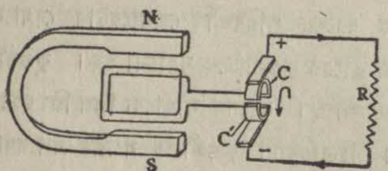


চিত্র—7ঞ

সর্বোচ্চ হইবে। সংশ্লিষ্ট বলরেখা পরিবর্তিত হওয়ার জন্য কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। কুণ্ডলীটিকে আরও 90° ঘুরানো হইলে সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিমাণ আবার সর্বনিম্ন হইবে। কুণ্ডলীটিকে যদি আরও 90° ঘুরানো হয় তবে সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিমাণ পুনরায় সর্বোচ্চ হইবে। কুণ্ডলীটিকে আরও ঘুরাইয়া প্রারম্ভিক অবস্থানে আনিলে সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিমাণ আবার সর্বনিম্ন হইবে। সুতরাং কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ হ্রাসবৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। ফ্লেমিং-এর দক্ষিণহস্ত সূত্র-সাহায্যে দেখানো যাইতে পারে যে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল পরিবর্তী ধরনের হইতেছে। সুতরাং বহির্বর্তনীতে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে থাকিবে। কুণ্ডলীতে তারের পাকের সংখ্যা, চৌম্বকক্ষেত্রের শক্তি এবং যন্ত্রটির ঘূর্ণনের উপর আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ নির্ভর করিবে।

7-12. সমপ্রবাহ তড়িতোৎপাদক যন্ত্র (D. C. Generator): এই যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তির পরিবর্তে সমপ্রবাহ তড়িৎশক্তি পাওয়া যায়।

ইহার কার্যনীতি অল্টারনেটারের মতোই। কেবলমাত্র স্লিপ রিং-এর বদলে এই যন্ত্রে কম্যুটেটার (commutator) ব্যবহৃত হয়। কম্যুটেটারের সাহায্যে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহকে সম প্রবাহে পরিণত করা হয়। একটি তামার চোঙকে অক্ষবরাবর দুই ভাগ করিয়া অন্তরিত অবস্থায় রাখিলে কম্যুটেটার তৈয়ারী হয়। কুণ্ডলীটির



চিত্র—7ট

প্রান্তদ্বয়কে চোঙটির দুইটি অংশের সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 7ট)। চিত্রানুযায়ী কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে কুণ্ডলীর উপরের অংশ ধনাত্মক হইলে কম্যুটেটারের উপরের অংশও ধনাত্মক হইবে। কুণ্ডলীটিকে 180° ঘুরাইলে কুণ্ডলীর নীচের অংশ উপরের স্থান দখল করিবে এবং ধনাত্মক হইবে। উপরের ব্রাশটি ইহার সংস্পর্শে থাকার দরুন ইহা এই অবস্থানেও ধনাত্মক থাকিয়া যাইবে। সুতরাং বহির্বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ সব সময়ে একই দিকে ঘটিবে। সেইজন্য এই ধরনের যন্ত্রকে **সম প্রবাহ তড়িতোৎপাদক যন্ত্র** বলা হয়। কতকগুলি বিশেষ কারণের জন্য এই ধরনের বৃহদাকার যন্ত্রে কম্যুটেটারকে দুইটি অংশের পরিবর্তে আরও অধিক অংশে ভাগ করা হয়।

7-13. **বৈদ্যুতিক মোটর** (Electric motor): এই সমস্ত যন্ত্রের সাহায্যে বৈদ্যুতিক শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়। সুতরাং ইহার কার্যনীতি তড়িতোৎপাদক যন্ত্রের ঠিক বিপরীত। সাধারণতঃ মোটর দুই প্রকার। যথা: (a) **পরিবর্তী মোটর** (A. C. motor) এবং (b) **সমপ্রবাহ মোটর** (D. C. motor)। প্রথম ধরনের মোটরে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ এবং দ্বিতীয় প্রকার মোটরে সমপ্রবাহ ব্যবহৃত হয়। পরিবর্তী মোটরের বিষয় এই পুস্তকে আলোচিত হইবে না।

সমপ্রবাহ মোটর (D. C. motor): এই ধরনের মোটরে সমপ্রবাহ তড়িৎশক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। গঠন প্রণালীর দিক দিয়া ইহার সহিত সমপ্রবাহ তড়িতোৎপাদক যন্ত্রের কোন পার্থক্য নাই। তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতরে রাখিলে কুণ্ডলীটির উপর একটি দ্বন্দ্ব (couple) কাজ করিবে। ইহার ফলে কুণ্ডলীটি ঘুরিতে থাকিবে। কুণ্ডলীটি কোন্ দিকে ঘুরিবে তাহা ফ্লেমিং-এর বামহস্ত সূত্র সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

আমাদের দৈনন্দিন জীবনে বৈদ্যুতিক মোটর বহু কার্যে ব্যবহৃত হয়। বৈদ্যুতিক

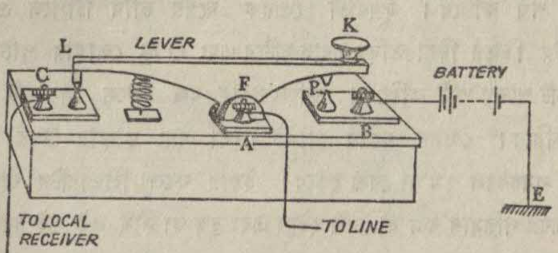
পাখা, ট্রামগাড়ী, বৈদ্যুতিক ট্রেন, ট্রলি বাস (trolley bus), রোলিং মিল ইত্যাদি বৈদ্যুতিক মোটরের সাহায্যে চলিয়া থাকে।

7-14. **টেলিগ্রাফ** (Telegraph) : টেলিগ্রাফ যন্ত্রের সাহায্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে সাংকেতিক পদ্ধতিতে সংবাদ আদান-প্রদান করা হয়। এই যন্ত্রটি 1837 খ্রীষ্টাব্দে মর্শ (Morse) আবিষ্কার করেন এবং এই যন্ত্রে তিনটি প্রধান অংশ থাকে :

(i) **প্রেরক যন্ত্র** (Transmitter or Morse Key), (ii) **গ্রাহক যন্ত্র** (Receiver or the Morse sounder) এবং **রিলে** (Relay)।

প্রেরক যন্ত্রের সাহায্যে কোন স্থান হইতে তড়িৎ-বর্তনীর মাধ্যমে সংবাদ পাঠানো হয় এবং গ্রাহক যন্ত্রের সাহায্যে অন্যস্থানে সংকেত ধরা হয়। প্রেরক এবং গ্রাহক যন্ত্রটিকে উপযুক্ত ধাতব তার দ্বারা যুক্ত করা হয় এবং ইহাকে লাইন তার (line wire) বলে। প্রেরক যন্ত্রের একপ্রান্ত লাইন তারের সহিত এবং অন্যপ্রান্ত পৃথিবীর সহিত যুক্ত থাকে। অনুরূপভাবে গ্রাহক যন্ত্রের একটি প্রান্তকে লাইন তারের সহিত এবং অন্য প্রান্তকে পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত করা হয়। প্রেরক যন্ত্র হইতে তড়িৎপ্রবাহ লাইনতার দিয়া গ্রাহক যন্ত্রে পৌঁছায় এবং ঐ তড়িৎপ্রবাহ গ্রাহক যন্ত্র হইতে পৃথিবীর ভিতর দিয়া পুনরায় প্রেরক যন্ত্রে আসিয়া প্রবেশ করে।

প্রেরক যন্ত্র (Transmitter or Morse Key) : 7ঠ নং চিত্রে একটি প্রেরক যন্ত্রের নক্‌শা দেখানো হইয়াছে। KL একটি পিতলের লিভার এবং উহার মধ্যবর্তী আলম্ব বিন্দু F স্থায়ীভাবে লাইনের সহিত যুক্ত থাকে। স্থানীয় গ্রাহক যন্ত্রকে

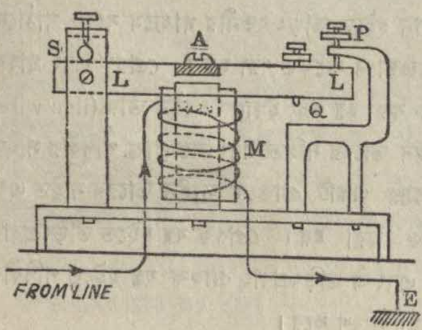


চিত্র—7ঠ

সংযোগকারী স্ক্রু C-এর সহিত এবং ব্যাটারীকে B-এর সহিত যুক্ত করা হয়। ব্যাটারীর অন্য মেরুটিকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করা হয়। পিতলের লিভারটি

F বিন্দুতে যুক্ত থাকে এবং স্বাভাবিক অবস্থায় C প্রান্তের সহিত যুক্ত থাকে। এই অবস্থানে দূরবর্তী স্টেশন হইতে তড়িৎপ্রবাহ A বিন্দুতে পৌছায় এবং L বিন্দুর মধ্য দিয়া স্থানীয় গ্রাহক যন্ত্রে প্রবেশ করে। কিন্তু K চাবি টিপিলে লিভারের L প্রান্তে সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয় কিন্তু লিভারের সহিত P বিন্দুতে সংযোগ স্থাপিত হয়। ইহার ফলে ব্যাটারীর বর্তনীটি সংহত হয় এবং প্রেরক যন্ত্র হইতে দূরবর্তী স্টেশনের গ্রাহক যন্ত্রে তড়িৎ-প্রবাহ গিয়া পৌছায়।

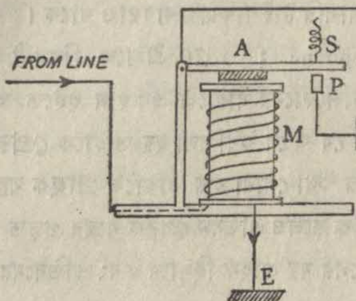
গ্রাহক যন্ত্র (Receiver বা Morse Sounder) : গ্রাহক যন্ত্রে একটি ধাতব লিভার (LL) থাকে (চিত্র 7ড)। লিভারের একটি প্রান্ত স্প্রিং S-এর সহিত এবং অন্য প্রান্তটি স্বাভাবিক অবস্থায় স্ক্রু P-এর সহিত যুক্ত থাকে। M একটি তড়িচ্চুম্বক এবং লিভারটির A বিন্দুতে একটুকরা নরম লোহা আটকানো থাকে। নরম লোহার টুকরাটিকে তড়িচ্চুম্বকের আর্মেচার বলা হয়। তড়িচ্চুম্বকের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে আর্মেচার A নীচের দিকে আকর্ষিত হইবে



চিত্র—7ড

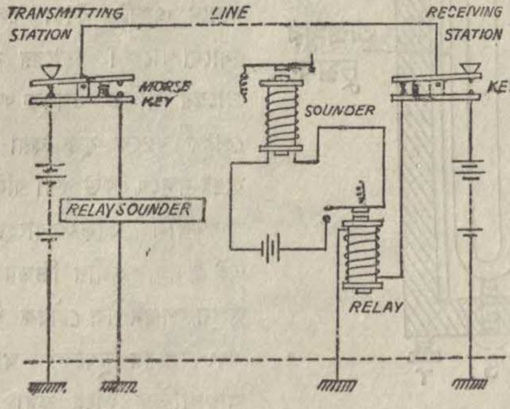
এবং Q স্ক্রুটি একটি লোহার পাটাতনের উপর আঘাত করিবে। তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইলে লিভারটি স্বাভাবিক স্থানে ফিরিয়া যাইবে এবং স্ক্রু P-এর সঙ্গে ধাক্কা মারিয়া আর একটি শব্দ করিবে। দূরবর্তী প্রেরক যন্ত্রের চাবি টিপিলে গ্রাহক যন্ত্রের তড়িচ্চুম্বকটির ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে এবং Q স্ক্রু লোহার পাটাতনে ধাক্কা মারিয়া একটি শব্দের সৃষ্টি করিবে। তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইলে লিভারটি P বিন্দুতে একটি শব্দ করিবে। প্রেরক যন্ত্রের চাবিটি টেপা এবং ছাড়ার উপর তড়িচ্চুম্বকে প্রবাহমাত্রার সময়কাল কম বা বেশী হইবে। ইহার ফলে লিভারটির ধাক্কা খাইবার অন্তর্বর্তী সময়ের পরিমাণ কম বা বেশী হইবে এবং হ্রস্ব বা দীর্ঘ এই দুই ধরনের সংকেত পাওয়া যাইবে। ইহাদিগকে যথাক্রমে ডট্ (dot) এবং ড্যাশ (dash) বলা হয়। মর্শ-কোড (Morse Code) অনুসারে বিভিন্ন বর্ণগুলিকে কতকগুলি ড্যাশ ও ডটের সমন্বয় হিসাবে চিহ্নিত করা হয় এবং সংকেত চিহ্নের উপযুক্ত সমন্বয় করিয়া একস্থান হইতে অন্যস্থানে সংবাদ পাঠানো হইয়া থাকে।

রিলে (Relay) : প্রেরক স্টেশনটির দূরত্ব বেশী হইলে লাইনের রোধ বেশী হইবে এবং স্বতঃক্ষরণের জন্য গ্রাহক যন্ত্রে আগত তড়িৎপ্রবাহ খুব ক্ষীণ হইয়া পড়ে এবং গ্রাহক যন্ত্র কোন শব্দ উৎপন্ন করিতে পারে না। এই সমস্ত ক্ষেত্রে গ্রাহক যন্ত্রের সহিত একটি রিলে ব্যবহার করা হয় (চিত্র 7চ)। রিলে যন্ত্রে একটি জোরালো



চিত্র—7চ

তড়িচ্চুম্বক (M) থাকে এবং একটি লিভারের A বিন্দুতে নরম লোহার আর্মেচার রাখা হয়। প্রেরক স্টেশন হইতে আগত তড়িৎ-প্রবাহকে তড়িচ্চুম্বকের ভিতর দিয়া পাঠানো হয়। ইহার ফলে লিভারটি নিচের দিকে আকর্ষিত হয় এবং ব্যাটারী (B), গ্রাহক যন্ত্র (Morse Sounder) সহ বর্তনীটি P বিন্দুতে সম্পূর্ণ বা সংহত হয়। ব্যাটারী (B)-এর জন্য গ্রাহক যন্ত্রে তড়িৎপ্রবাহ বেশী হয় এবং গ্রাহক যন্ত্রটি সাড়া দেয়।

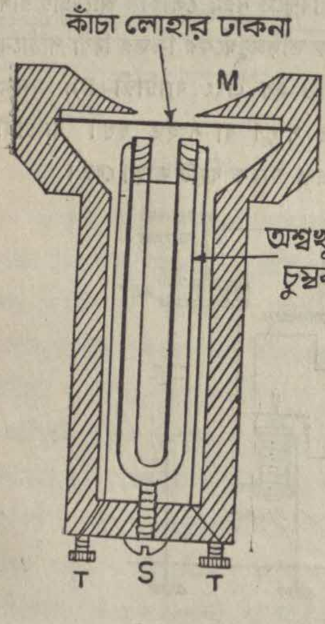


চিত্র—7ছ

7ছ নং চিত্রে রিলে সহ টেলিগ্রাফ পদ্ধতির সরল সংযোগ পদ্ধতি দেখানো হইয়াছে। স্পষ্টতঃ এই ধরনের পদ্ধতিতে কোন নির্দিষ্ট সময়ে কেবলমাত্র একদিকে

সংবাদ পাঠানো হয়। উন্নততর পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া একই তারের ভিতর দিয়া একই সঙ্গে একাধিক সংবাদ পাঠানো যাইতে পারে। এই ধরনের পদ্ধতিগুলি দ্বি-মুখ (Duplex) ও চতুর্মুখ (Quadruplex) নামে অভিহিত। উন্নততর ব্যবস্থায় স্বয়ংক্রিয় ভাবে গ্রাহক যন্ত্রের সংকেতগুলিকে চলমান ফিতার উপর লেখা যায় এবং প্রয়োজন বোধে সংবাদকে সরাসরি টাইপ করার ব্যবস্থাও থাকে।

7-15. **টেলিফোন** (Telephone): 1876 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী গ্রাহাম বেল টেলিফোন আবিষ্কার করেন। টেলিফোনের সাহায্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে শব্দ প্রেরণ করা সম্ভব। টেলিফোনের যে অংশে কথা বলা হয় তাহাকে **প্রেরক যন্ত্র** এবং যে অংশের সাহায্যে দূরবর্তী বক্তার কথা শোনা যায় তাহাকে **গ্রাহক যন্ত্র** বলা হয়। গ্রাহাম বেল টেলিফোন আবিষ্কার করিলেও এডিসন প্রেরক যন্ত্রের প্রভূত উন্নতি সাধন করেন। বর্তমানে সাধারণতঃ বেলের যন্ত্র গ্রাহক হিসাবে এবং এডিসনের যন্ত্র প্রেরক হিসাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।



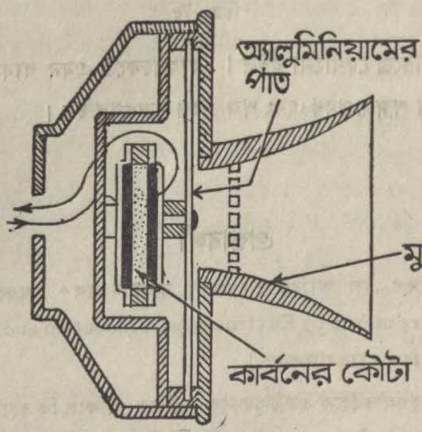
চিত্র—7ত

গ্রাহক যন্ত্র (Receiver) 7ত নং চিত্রে একটি গ্রাহক যন্ত্র দেখানো হইল। অশ্বখুর চুম্বকের দুই মেরুর প্রান্তে অন্তরিত তারের দুইটি কুণ্ডলী শ্রেণীবদ্ধ সজ্জায় কিন্তু বিপরীত পাকে জড়ানো থাকে। চুম্বকটির সামনে একটি কাঁচা লোহার চাকতি বসানো থাকে। তারের কুণ্ডলী দুইটির প্রান্তের সহিত উপযুক্ত বর্তনীর সাহায্যে প্রেরক যন্ত্রকে যুক্ত করা হয়। প্রেরক যন্ত্রের সম্মুখে কেউ কথা বলিলে বর্তনীতে স্পন্দনশীল তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই প্রবাহ কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইলে স্পন্দনশীল চৌম্বক শক্তির সৃষ্টি হয় এবং অশ্বখুর চুম্বকের স্বাভাবিক শক্তি আনুপাতিক হারে কমা বাড়া করিতে থাকে। ইহার ফলে কাঁচা লোহার চাকতিটির উপর চৌম্বক আকর্ষণের পরমিাণ পরিবর্তিত হয় এবং চাকতিটি

কম্পনশীল হইয়া বায়ুতে শব্দতরঙ্গের সৃষ্টি করে। প্রেরক যন্ত্রে শব্দতরঙ্গের জন্য স্পন্দনশীল তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয় এবং গ্রাহক যন্ত্রের এই তড়িৎ-প্রবাহের জন্যই শব্দ তরঙ্গের সৃষ্টি হইয়া থাকে। এই কারণেই টেলিফোনে বক্তার কথা শ্রোতা শুনিতে পায়।

উপরে বর্ণিত যন্ত্রকে প্রেরক যন্ত্র হিসাবেও ব্যবহার করা যাইতে পারে। লোহার চাকতির সামনে কেহ কথা বলিলে চাকতিটি কাঁপিতে থাকে এবং চুম্বক হইতে চাকতিটির দূরত্ব পরিবর্তিত হইতে থাকে। ইহার ফলে তারের কুণ্ডলীতে সংযুক্ত বলরেখার পরিমাণের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে এবং উহাতে আবিষ্ট পরিবর্তনশীল তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই পরিবর্তনশীল তড়িৎ-প্রবাহ গ্রাহক যন্ত্রে প্রবাহিত হইয়া বায়ুতে শব্দ তরঙ্গের সৃষ্টি করে। পূর্বে এই ধরনের যন্ত্র প্রেরক যন্ত্র হিসাবেও ব্যবহৃত হইত। কিন্তু এই সমস্ত ক্ষেত্রে উৎপন্ন তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ খুব কম হয়। ফলে বক্তা এবং শ্রোতার দূরত্ব বেশী হইলে শব্দ শোনা যাইবে না। বর্তমানে এডিসনের আবিষ্কৃত কার্বন-মাইক্রোফোনকে প্রেরক যন্ত্র হিসাবে ব্যবহার করা হইয়া থাকে।

প্রেরক যন্ত্র (Transmitter) : বর্তমানে এডিসনের কার্বন-মাইক্রোফোন প্রেরক যন্ত্র হিসাবে ব্যবহৃত হয়। কার্বনের উপর প্রযুক্ত চাপ বাড়িলে উহার রোধ কমিয়া যায়।

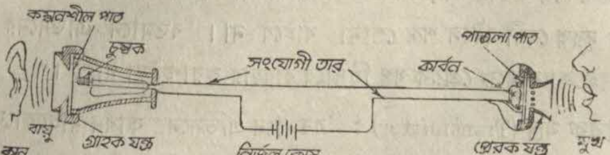


চিত্র—7থ

এই নীতির উপর কার্বন-মাইক্রোফোন ক্রিয়া করে। এই যন্ত্রে কার্বনের গুঁড়া-ভর্তি একটি কার্বনের বাক্স থাকে (চিত্র 7থ)। বাক্সটির সামনে অ্যালুমিনিয়ামের একটি

পাতলা চাকতি আছে। একটি ধাতুর টুকরার সাহায্যে অ্যালুমিনিয়ামের পাতটিকে কার্বনের বাক্সটির সম্মুখ ভাগের দেওয়ালের সহিত যুক্ত করা হয়। কার্বনের বাক্সটির দুই দেওয়াল হইতে দুইটি তার তড়িৎ বর্তনীতে যুক্ত করা হয়। বর্তনীটি সম্পূর্ণ থাকিলে তড়িৎপ্রবাহটিকে যন্ত্রটির মুখের কাছে কথা বলিলে শব্দতরঙ্গের জন্য অ্যালুমিনিয়ামের পাতটি কাঁপিতে থাকে এবং কার্বনের উপর প্রযুক্ত চাপের পরিমাণ কখনও বাড়িয়া এবং কখনও কমিয়া যায়। ইহার ফলে কার্বনের কৌটার রোধ পরিবর্তিত হয় এবং শব্দ-তরঙ্গের জন্য প্রযুক্ত চাপের তারতম্য অনুযায়ী তড়িৎ-প্রবাহেরও তারতম্য ঘটিতে থাকে। এইরূপে উৎপন্ন পরিবর্তনশীল তড়িৎপ্রবাহ দূরবর্তী গ্রাহকযন্ত্রে প্রবেশ করে এবং আমরা শব্দ শুনিতে পাই।

কি প্রকারে দুই ব্যক্তির মধ্যে টেলিফোনের সাহায্যে সংযোগ স্থাপিত হয় তাহা



চিত্র—7দ

সাধারণভাবে 7দ নং চিত্রে দেখানো হইল। বাস্তবক্ষেত্রে এমন ব্যবস্থা থাকে যাহাতে একই বর্তনীর সাহায্যে শব্দ প্রেরণ এবং শব্দ গ্রহণ সম্ভবপর হয়।

প্রশ্নাবলী

1. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ এবং আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ কাহাকে বলে? কয়েকটি পরীক্ষার দ্বারা ইহা বুঝাইয়া দাও। [What are meant by Electromagnetic induction and induced current? Explain them with a few experiments.]

2. তারের একটি বদ্ধ কুণ্ডলীর দিকে একটি চুম্বককে আনিতে থাকিলে কি হইবে? চুম্বকটিকে কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইতে থাকিলে কি হইবে? চুম্বকটিকে স্থির রাখিয়া কুণ্ডলীটিকে যদি কাছে আনা বা দূরে সরান হয় তাহা হইলে কি হইবে? কুণ্ডলী দুইটিকে একই দিকে এবং একই গতিবেগে সরাইলে কি হইবে? [What will happen when a magnet is being brought towards a closed coil? What will be the result if the magnet is being taken away from the magnet?

What will be the effect if the magnet is kept fixed but the coil is being brought towards or taken away from the magnet? Discuss the result when both the magnet and the coil are moved in the same direction with the same velocity.]

3. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলী লিখ। চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। [State the laws of electromagnetic induction. Explain them with illustration.]

4. আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ কাহাকে বলে? আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ কোন্‌দিকে কি পরিমাণে এবং কতক্ষণ প্রবাহিত হইবে তাহা বুঝাইয়া দাও। [What is meant by induced current? What will be the direction, magnitude and duration of flow of the induced current?]

5. ফ্যারাডের তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলী এবং লেঞ্জের সূত্র লিখ। শক্তির সংরক্ষণ নীতির সাহায্যে লেঞ্জের সূত্র ব্যাখ্যা কর। [State Faraday's laws of electromagnetic induction and Lenz's law. Explain Lenz's law with the principle of conservation of energy.]

6. চিত্রের সাহায্যে স্বাবেশ কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। স্বাবেশ গুণাঙ্ক কি এবং কাহার উপর নির্ভরশীল। [Explain self induction with the help of diagram. What is co-efficient of self-induction. On what factors does its value depend.]

7. স্বাবেশ এবং পারস্পরিক আবেশ কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। স্বাবেশ এবং পারস্পরিক আবেশের সংজ্ঞা দাও এবং উহাদের ব্যবহারিক এককের নাম লিখ। [Explain what are meant by self-induction and mutual induction? Define co-efficient of self-induction and mutual induction and name their practical units.]

8. আবেশ কুণ্ডলীর বর্ণনা দাও এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। এই ধরনের যন্ত্রের উপযোগিতা কি? [Describe an induction coil and explain its working. Mention the usefulness of the machine.]

9. রুমকর্ফের আবেশকুণ্ডলীর সাহায্যে কি করা হয়? চিত্রের সাহায্যে যন্ত্রটির গঠন প্রণালী বুঝাইয়া দাও। ইহা কি কি কাজে লাগে? [What is achieved by Rhumkorff's induction coil. Describe the machine with a suitable diagram. What are its uses?]

10. তড়িৎ-উৎপাদক যন্ত্র কাহাকে বলে? প্রাথমিক ধরনের পরিবর্তী তড়িৎ-উৎপাদক যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। এই যন্ত্রে কোন্‌ শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়? [What is an electrical generator? Describe an elementary A. C. Generator and discuss its working principle. Name the form of energy at whose expense electrical energy is obtained.]

11. সম-প্রবাহ তড়িৎ-উৎপাদক যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। [Describe a D. C. Generator and explaian its working.]

12. বৈদ্যুতিক মোটর বলিতে কি বুঝায়? ডায়নামো এবং মোটরের কার্যনীতি তুলনা কর। [What is meant by an electric motor. Compare the working of a dynamo with that of a motor.]

13. টেলিগ্রাফ যন্ত্রের সাহায্যে কি করা হয়? টেলিগ্রাফের সাহায্যে কিভাবে সংবাদ আদান-প্রদান সম্ভব তাহা আলোচনা কর। "রিলে" প্রণালী কথন এবং কেন ব্যবহার করা হয় তাহা আলোচনা কর। [What is the usefulness of a telegraph? Discuss how messages are sent and received with the help of a telegraph. Explain when and why a relay is used.]

14. টেলিফোনের সাহায্যে কি করা হয়। টেলিফোনের গ্রাহক যন্ত্র ও প্রেরক যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [What is done with the help of a telephone? Describe a receiver and transmitter of a telephone and explain their working.]

15. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ:—(i) টেলিগ্রাফ, (ii) টেলিফোন এবং (iii) মাইক্রোফোন। [Write short notes on :—(i) telegraph, (ii) telephone and (iii) microphone.]

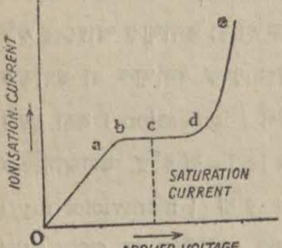
আধুনিক পদার্থ-বিজ্ঞান (MODERN PHYSICS)

প্রথম অধ্যায়
গ্যাসে তড়িৎ প্রবাহ
(Conduction of electricity in gases)

1.1. সাধারণ চাপে গ্যাসে তড়িৎ প্রবাহ (Conduction of electricity in gases at normal pressure) : সাধারণ চাপ ও তাপমাত্রায় যে কোন শুষ্ক গ্যাস তড়িতের কু-পরিবাহী, অর্থাৎ সেই অবস্থায় গ্যাসের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘটে না। অবশ্য কয়েকটি বিশেষ অবস্থায় ও প্রক্রিয়ায় কোন গ্যাসকে তড়িৎ-পরিবাহী করা সম্ভব। কিন্তু গ্যাসের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহের জন্য আয়নের উপস্থিতি অপরিহার্য। সাধারণ অবস্থায় বায়ুর মধ্যে কোন আহিত স্বর্ণপত্র তড়িৎমোক্ষণ যন্ত্র রাখিলে দেখা যায় যে যন্ত্রটির আধানের পরিমাণ সময়ের সহিত আস্তে আস্তে কমিয়া যাইতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে যন্ত্রটি এবং বায়ুর মধ্যে অল্পহারে তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটিতেছে। কিন্তু তড়িৎমোক্ষণের জন্য বায়ুতে আয়নের উপস্থিতি দরকার। বায়ুতে নানা নৈসর্গিক কারণে, যথা—মহাজাগতিক রশ্মি, তেজস্ক্রিয়তা ইত্যাদির জন্য সর্বদাই কিছু পরিমাণ আয়ন বিদ্যমান থাকে। কিন্তু সাধারণ অবস্থায় তাহাদের সংখ্যা খুব কম। সাধারণ অবস্থায় কোন গ্যাসের অণু এবং পরমাণুগুলি নিস্তড়িৎ। কিন্তু যদি কোন কারণের জন্য অণু বা পরমাণু হইতে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হইয়া যায় তাহা হইলে অণু বা পরমাণুতে ধনাত্মক আধানের আধিক্য ঘটিবে এবং তাহাদিগকে ধনাত্মক আয়ন বলা হইবে। মুক্ত ইলেকট্রন কোন নিস্তড়িৎ অণু পরমাণুর সহিত যুক্ত হইয়া ঋণাত্মক আয়নের সৃষ্টি করিবে। যে প্রণালীর সাহায্যে নিস্তড়িৎ অণু বা পরমাণুকে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানে আহিত করা যায় সেই প্রণালীকে **আয়নয়ন** (ionisation) বলা হয়। (i) গ্যাসকে যথেষ্ট উত্তপ্ত করিলে, (ii) গ্যাসের ভিতর দিয়া এক্স-রশ্মি, মহাজাগতিক রশ্মি (cosmic ray), তেজস্ক্রিয় রশ্মি, বেগনী-পারের রশ্মি (ultraviolet ray) পাঠাইলে এবং (iii) গ্যাসের ভিতর তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটাইলে যে কোন গ্যাস আয়নিত হইতে পারে। কোন আয়নিত গ্যাসের ভিতর দুইটি তড়িৎ-দ্বার রাখিলে ধনাত্মক আয়নগুলি ঋণাত্মক তড়িৎদ্বারের অভিমুখে এবং ঋণাত্মক আয়ন ও ইলেকট্রনগুলি ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারের অভিমুখে ধাবিত হইতে থাকিবে এবং গ্যাসের ভিতর তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি করিবে। এই ধরনের প্রবাহকে **আয়নয়ন প্রবাহ** (ionisation current) বলা হয়। সাধারণ অবস্থায় গ্যাসে আয়নের সংখ্যা কম থাকে বলিয়া আয়নয়ন প্রবাহের মাত্রা খুব ক্ষীণ হইবে এবং এই প্রবাহ মাপিবার

জন্য উপযুক্ত ধরনের তড়িৎ-বীক্ষণ বা তড়িৎ-মিটার (electrometer) ব্যবহার করা হয়। গ্যাসের চাপ বেশী থাকিলে আয়নগুলি গ্যাসের অণুর সঙ্গে অনেকবার ধাক্কা খাইবে। ইহার ফলে আয়নগুলির গতিশক্তি হ্রাস পাইবে এবং গতিশক্তির পরিমাণ কম হওয়ায় অন্যান্য অণুগুলিকে আয়নিত করিতে পারিবে না। কিন্তু গ্যাসের চাপ কম হইলে নির্দিষ্ট আয়তনে গ্যাসের অণুর সংখ্যা কমিয়া যায়। ফলে আয়নগুলি ধাক্কা খাইবার আগে তুলনামূলকভাবে বেশীদূর যাইবে এবং বেশী পরিমাণ গতিশক্তির অধিকারী হইবে। এই অবস্থায় ধাক্কার ফলে অণুগুলি হইতে ইলেকট্রন বাহির হইয়া যায় এবং উহারা আয়নে পরিণত হয়। বেশী পরিমাণ আয়ন এবং ইলেকট্রন বিদ্যমান থাকিলে তড়িৎ-সঞ্চালনের পরিমাণও বাড়িয়া যাইবে। তড়িৎ-দ্বারে প্রযুক্ত তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ বৃদ্ধি করিলেও আয়নগুলির গতিশক্তি বাড়িয়া যাইবে এবং তড়িৎ-সঞ্চালন বেশী হইবে।

1.2. বিভব-প্রভেদ ও আয়নয়ন প্রবাহের মধ্যে সম্পর্ক (Relation of ionisation current with applied voltage): কোন আয়নিত গ্যাসের ভিতর দুইটি তড়িৎ-দ্বার রাখিলে ধনাত্মক আয়নগুলি ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারের অভিমুখে এবং ঋণাত্মক আয়ন ও ইলেকট্রনগুলি ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারের অভিমুখে চলিতে থাকিবে এবং আয়নয়ন প্রবাহের সৃষ্টি করিবে। তড়িৎ-দ্বারে প্রযুক্ত তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ আস্তে আস্তে বাড়াইলে আয়নয়ন প্রবাহের কিরূপ পরিবর্তন ঘটিবে তাহার প্রকৃতি দেখানো হইয়াছে (চিত্র 1 ক)। তড়িৎ-দ্বার দুইটির বিভব-পার্থক্য কম থাকিলে আয়নয়ন প্রবাহ খুব কম হইবে এবং বিভব-পার্থক্য আস্তে আস্তে বাড়াইতে থাকিলে আয়ন প্রবাহও সমানুপাতিকভাবে ওহমের সূত্র অনুযায়ী বাড়িতে থাকিবে (চিত্রে Oa অংশ)। বিভব-পার্থক্য আরও বাড়াইতে থাকিলে আয়নয়ন প্রবাহ **বৃদ্ধির হার** আস্তে আস্তে কমিতে থাকিবে (চিত্রে ab অংশ) এবং অবশেষে শূন্য হইয়া যাইবে (চিত্রে bc অংশ)। এই অবস্থায় বিভব-পার্থক্য বাড়াইলেও আয়নয়ন প্রবাহের



চিত্র—1ক

মান বাড়িবে না এবং এই সময়ের আয়নয়ন প্রবাহকে **সংপৃক্ত প্রবাহ** (saturation current) বলা হয়। বিভব-পার্থক্য আরও বাড়াইতে থাকিলে প্রবাহমাত্রা দ্রুতহারে বাড়িতে থাকিবে (চিত্রে cd অংশ) এবং অবশেষে তড়িৎ-দ্বার দুইটির মধ্যে সরাসরি স্পার্ক (spark) দেখা যাইবে (চিত্রে de অংশ)। যে পরিমাণ বিভব-পার্থক্যে সরাসরি স্পার্ক দেখা যায় তাহাকে স্পার্কিং বিভব (sparking potential) বলা হয়। ইহার মান

গ্যাসের চাপ, তড়িৎ-দ্বার দুইটির পারস্পরিক দূরত্ব এবং কিছু পরিমাণে তড়িৎ-দ্বারের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

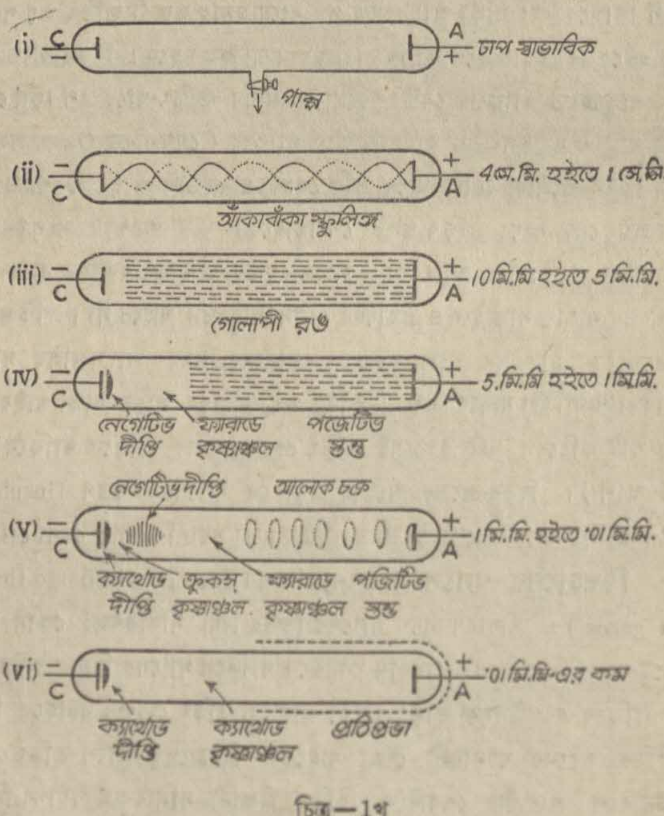
আয়নয়নের সাহায্যে উপরে বর্ণিত লেখ চিত্রের ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। মনে কর, কোন নির্দিষ্ট প্রাবল্যের আয়নয়নকারী শক্তির জন্য গ্যাসটি আয়নিত হয়। প্রাবল্য নির্দিষ্ট বলিয়া ঐ শক্তি গ্যাসে প্রতি সেকেণ্ডে নির্দিষ্ট পরিমাণ আয়ন সৃষ্টি করিবে এবং প্রতি সেকেণ্ডে কতগুলি আয়ন ও ইলেকট্রন তড়িৎ-দ্বারে পেঁছাইবে তাহা বিভব-প্রভেদের উপর নির্ভর করিবে। একদিকে আয়নয়নকারী শক্তি যেমন আয়নের সৃষ্টি করিবে অন্যদিকে ধনাত্মক আয়ন সঞ্চালনের সময় পথিমধ্যে ঋণাত্মক আয়ন ও ইলেকট্রনের সহিত মিলিত হইয়া পুনঃ-সংযোজনার (recombination) জন্য নিস্তড়িৎ অণু, পরমাণুর সৃষ্টি করিবে। বিভব-প্রভেদ কম হইলে খুব কম সংখ্যক আয়ন তড়িৎ-দ্বারে পেঁছাইবে এবং বাকী আয়নগুলি পুনঃসংযোজনার জন্য নিস্তড়িৎ অণু পরমাণুতে পরিণত হইবে। ইহার ফলে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা কম হইবে। বিভব-প্রভেদ আস্তে আস্তে বাড়াইতে থাকিলে বেশী পরিমাণে আয়ন তড়িৎ-দ্বারে পেঁছাইবে এবং প্রবাহের মাত্রাও সমানুপাতিক হারে বাড়িতে থাকিবে (লেখ চিত্রে O*a* অংশ)। কিন্তু অবশেষে বিভব-প্রভেদের নির্দিষ্ট মানে প্রতি সেকেণ্ডে যতগুলি আয়ন উৎপন্ন হয় সমস্ত আয়নগুলিই সেই সময়ে তড়িৎ-দ্বারে পেঁছাইবে। এই অবস্থায় সংপৃক্ত প্রবাহ পাওয়া যাইবে (চিত্রে *bc* অংশ)। আয়ন সৃষ্টির হার অপরিবর্তিত থাকে বলিয়া বিভব-প্রভেদ সামান্য বাড়াইলেও প্রবাহের কোন পরিবর্তন ঘটিবে না। কিন্তু প্রযুক্ত বিভব-প্রভেদের মান খুব বেশী হইলে সঞ্চালনের সময় আয়নগুলির গতিবেগ যথেষ্ট পরিমাণে বাড়িয়া যাইবে এবং নিস্তড়িৎ অণু-পরমাণুর সহিত ধাক্কা খাইয়া নূতন আয়নের সৃষ্টি করিবে। এই কারণেই তড়িৎ প্রবাহ আবার বাড়িতে থাকিবে (লেখ চিত্রে *cd* অংশ)। বিভব-প্রভেদ আরও বাড়াইলে গ্যাসের অন্তরণ (insulation) সম্পূর্ণরূপে ভাঙ্গিয়া পড়ে এবং তড়িৎ-দ্বার দুইটির মধ্যে সরাসরি স্পার্ক দেখা দেয়।

1.3. নিম্নচাপের গ্যাসে তড়িৎ-মোক্ষণ (Electric discharge through rarefied gases): সাধারণ চাপে গ্যাসের ভিতর দিয়া সাধারণতঃ কোন তড়িৎ প্রবাহ ঘটে না। কিন্তু চাপের পরিমাণ কমাইতে থাকিলে গ্যাসের বিদ্যুৎ পরিবাহিতা বাড়িতে থাকিবে এবং উপযুক্ত তড়িৎ-দ্বারের সাহায্যে তড়িৎ মোক্ষণ ঘটাইলে বিভিন্ন চাপে বিভিন্ন ধরনের ঘটনাবলী দেখা যাইবে। নিম্নচাপের গ্যাসে তড়িৎ মোক্ষণ বিষয়ে উনবিংশ শতাব্দীর শেষদিকে বিভিন্ন বিজ্ঞানী নানারকম পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন এবং ইহার ফলে ইলেকট্রন, ধনাত্মক রশ্মি (positive rays), এক্স-রশ্মি ইত্যাদি আবিষ্কৃত হয়। এই সমস্ত আবিষ্কারের ফল সুদূরপ্রসারী এবং বিশেষ গুরুত্ব-

পূর্ণ বলিয়া প্রমাণিত হয় এবং এই সমস্ত আবিষ্কার আধুনিক বিজ্ঞানের রোমাঞ্চকর জয়যাত্রার পথকে সুগম করে। কোন গ্যাসে বিভিন্ন চাপে কিরূপ তড়িৎ-সঞ্চালন ঘটিবে তাহা নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ণয় করা হয়।

প্রায় 40 সেমি. লম্বা এবং 4 সেমি. ব্যাসবিশিষ্ট কাচের নলে পরীক্ষণীয় গ্যাসটিকে লওয়া হয়। নলটির দুই প্রান্তে প্লাটিনামের তৈয়ারী দুইটি তড়িৎ-দ্বার (A, C) থাকে (চিত্র 1 খ) এবং ইহাদের মধ্যে উচ্চমানের বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হয়। পাম্পের সাহায্যে প্রয়োজনমত ভিতরকার গ্যাসের চাপ কমানো যাইতে পারে। কাচের নলটির ভিতর বায়ু থাকিলে এবং বায়ুর চাপ ক্রমাগত কমিতে থাকিলে নিম্নলিখিত ঘটনাগুলি পরিলক্ষিত হইবে :

(i) নলটির ভিতর বায়ুর চাপ স্বাভাবিক থাকিলে কোন তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে না।



চিত্র—1খ

(ii) বায়ুর চাপ কমিয়া 4 সেমি. হইতে 1 সেমি.-এর মধ্যে থাকিলে নলটির ভিতর আঁকা-বাঁকা লম্বা স্ফুলিঙ্গ দেখা যাইবে। সেইসময় কিছু আওয়াজও উৎপন্ন হইবে।

(iii) চাপের পরিমাণ 10 মিমি. হইতে 5 মিমি.-এর মধ্যে থাকিলে আঁকা-বাঁকা স্ফুলিঙ্গগুলি দীপ্তিমান স্তম্ভের আকার ধারণ করিবে। ইহাকে পজিটিভ স্তম্ভ (positive column) বলা হয়। স্তম্ভের বর্ণ গ্যাসের প্রকৃতির উপর নির্ভর করিবে। এই বর্ণ বায়ুর ক্ষেত্রে গোলাপী, নিয়ন গ্যাসের ক্ষেত্রে লাল, হিলিয়ামের ক্ষেত্রে হলুদ, পারদ বাষ্পের ক্ষেত্রে সবুজ হইয়া থাকে। বড় বড় শহরে বিজ্ঞাপনের জন্য পজিটিভ স্তম্ভকে কাজে লাগান হয়।

ক্যাথোড এবং পজিটিভ স্তম্ভের মাঝখানে সামান্য অংশ অন্ধকারাচ্ছন্ন থাকে। ইহাকে ফ্যারাডে কৃষ্ণাঞ্চল (Faraday dark space) বলা হয়। এই সময় ক্যাথোডেও সামান্য পরিমাণ দীপ্তি দেখা যায়। ইহাকে নেগেটিভ দীপ্তি বলা হয়।

(iv) চাপের পরিমাণ 5 মিমি. হইতে 1 মিমি.-এর মধ্যে থাকিলে ফ্যারাডে কৃষ্ণাঞ্চলের দৈর্ঘ্য এবং নেগেটিভ দীপ্তি বাড়িয়া যায়।

(v) চাপের পরিমাণ 1 মিমি. হইতে '01 মিমি.-এর মধ্যে থাকিলে পজিটিভ স্তম্ভ কতকগুলি আলোক-চক্রে (striations) ভাঙ্গিয়া যায় এবং নেগেটিভ দীপ্তি ক্যাথোড হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া আর একটি কৃষ্ণাঞ্চলের সৃষ্টি করে। ইহাকে ক্রুকস-কৃষ্ণাঞ্চল (Crooke's dark space) বলা হয়। এই সময় ক্যাথোডে নূতন আভা দেখা যায়। ইহাকে ক্যাথোড দীপ্তি (cathode glow) বলে।

(vi) চাপের পরিমাণ আরও কমাইলে ক্রুকস-কৃষ্ণাঞ্চল দৈর্ঘ্যে বাড়িয়া যাইবে এবং নেগেটিভ দীপ্তি অ্যানোডের দিকে সরিয়া যাইবে। এই সময় পজিটিভ স্তম্ভের আলোক-চক্রগুলির সংখ্যা কমিয়া যাইবে এবং তাহাদের মধ্যে দূরত্ব বাড়িয়া যাইবে।

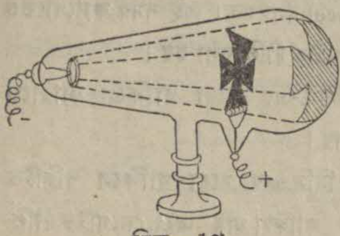
চাপের পরিমাণ 0'1 মিমি.-এর কম হইলে সমস্ত নলটি ক্রুকস কৃষ্ণাঞ্চলে ভরিয়া যাইবে এবং নলের ভিতরে কার্যত কোন আলো দেখা যাইবে না। কিন্তু এই সময় ক্যাথোডের বিপরীত দিকে নলটির দেওয়াল হইতে সবুজ আলো নির্গত হইতে দেখা যাইবে। ইহা হইতে সিদ্ধান্ত করা হয় যে ক্যাথোড হইতে কিছু বাহির হইয়া উহা ক্যাথোডের বিপরীত দিকে কাচের দেওয়ালে আঘাত করে এবং আভার সৃষ্টি হয়। যাহার জন্য এই আভার সৃষ্টি হয় তাহাকে **ক্যাথোড রশ্মি** (Cathode rays) বলে। বৈজ্ঞানিক টমসন প্রমাণ করেন যে ক্যাথোড রশ্মি প্রবহমান ইলেকট্রনের সমষ্টি।

1.4. ক্যাথোড রশ্মি : ক্ষরণ নলে অবস্থিত গ্যাসের চাপ 0'1 মিমি. অথবা তাহার কম হইলে এবং তড়িৎ-দ্বারের মধ্যে উপযুক্ত উচ্চমানের বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে প্রায় অন্ধকার নলের ভিতরে একটি অস্পষ্ট ক্ষীণ আলোক রেখা দেখা যায়। ক্যাথোড হইতে নির্গত হয় বলিয়া বৈজ্ঞানিক গোল্ডস্টাইন উহার নাম দেন 'ক্যাথোড

রশ্মি'। পরে পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হয় যে উপরি উক্ত অবস্থায় অবিরাম গতিতে ক্যাথোড পৃষ্ঠ হইতে লম্বভাবে ইলেকট্রন বাহির হইয়া আসে। এই ইলেকট্রন স্রোতকেই **ক্যাথোড রশ্মি** বলা হয়।

1.5. ক্যাথোড রশ্মির ধর্ম (Properties of cathode rays) : ক্যাথোড রশ্মির কয়েকটি বিশেষ ধর্মের বিষয় নীচে বলা হইল :

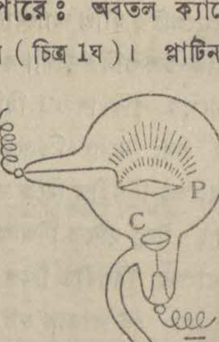
(i) **ক্যাথোড রশ্মি সরলরেখায় গমন করে :** বিশেষ আকারের ক্ষরণ নলের ভিতর উত্তল ক্যাথোড এবং তারকার মত দেখিতে অ্যালুমিনিয়ামের অ্যানোড রাখা হয়। ক্ষরণ নলটি চালু করিলে ক্যাথোডের বিপরীত দিকে অ্যানোডের পিছনে তারকাটির সুস্পষ্ট ছায়া দেখা যাইবে (চিত্র 1গ)। ইহা প্রমাণিত করে যে ক্যাথোড রশ্মি সরলরেখায় গমন করে।



চিত্র—1গ

(ii) **ক্যাথোডরশ্মি ক্যাথোড-পৃষ্ঠ হইতে লম্বভাবে বাহির হয় :** ক্ষরণ-নলে অবস্থিত ক্যাথোডটি অবতল আকারের হইলে ক্যাথোড-রশ্মিগুলি উহার বক্রতা-কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত হয়। ইহা প্রমাণ করে যে ক্যাথোড রশ্মি ক্যাথোড-পৃষ্ঠ হইতে লম্বভাবে বাহির হইয়া আসে।

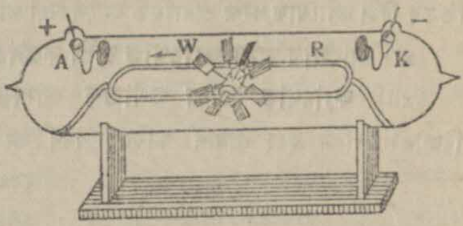
(iii) **ক্যাথোড রশ্মি তাপ উৎপন্ন করিতে পারে :** অবতল ক্যাথোড C-এর বক্রতাকেন্দ্রে একটুকরা প্লাটিনাম (P) রাখা হইল (চিত্র 1ঘ)। প্লাটিনামটি অ্যানোড হিসাবেও কাজ করে। মোক্ষণ নলটি চালু করিলে ক্যাথোড রশ্মিগুলি P-এর উপর আপতিত হইবে এবং প্লাটিনামের টুকরাটি গরম হইয়া লাল হইয়া উঠিবে। ইহা প্রমাণ করে যে ক্যাথোডরশ্মি কোন বস্তুর উপর আপতিত হইয়া তাপ উৎপন্ন করিতে পারে।



চিত্র—1ঘ

(iv) **ক্যাথোড রশ্মির ভরবেগ আছে :** 1ঙ নং চিত্রে একটি বিশেষ ধরনের ক্ষরণ নল দেখানো হইয়াছে, যেখানে A, অ্যানোড ; K, ক্যাথোড এবং W কাচের লাইনে রাখা পাতলা অভ্রের চাকা সূচিত করিতেছে। ক্ষরণ নলটি চালু করিলে ক্যাথোড হইতে নির্গত

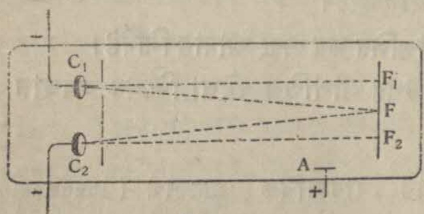
ক্যাথোড রশ্মি চাকাটির উপরের অংশে আপতিত হইবে এবং চাকাটি লাইন বরাবর ঘুরিতে ঘুরিতে আগাইয়া যাইবে। অ্যানোড এবং ক্যাথোডের স্থান পরিবর্তিত করিলে চাকাটি বিপরীত দিকে যাইবে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে ক্যাথোড রশ্মির ভরবেগ তথা গতিজাড্য আছে।



চিত্র—1ঙ

(v) **ক্যাথোড রশ্মি অনুপ্রভা (phosphorescence) সৃষ্টি করিতে পারে ঃ** উপরের পরীক্ষায় চাকার পাতগুলিতে অনুপ্রভ বস্তু লাগাইয়া ক্ষরণ নলটি চালু করিলে দেখা যাইবে যে পাতগুলি হইতে উজ্জ্বল আলো বাহির হইতেছে।

(vi) **ক্যাথোড রশ্মি পরস্পরকে বিকর্ষিত করে ঃ** মনে কর ক্ষরণ নলে A একটি অ্যানোড ; C_1, C_2 দুইটি অবতল ক্যাথোড এবং F_1F_2 একটি প্রতিপ্রভ পর্দা (চিত্র 1চ)। C_1 এবং C_2 আলাদাভাবে ক্যাথোড হিসাবে কাজ করিলে ক্যাথোড রশ্মিগুলি প্রত্যেক ক্ষেত্রে F বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়। কিন্তু দুইটি ক্যাথোডকেই একসঙ্গে চালু করিলে C_1, C_2 হইতে আগত রশ্মিগুলি যথাক্রমে F_1, F_2 বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হইবে। ইহা প্রমাণ করে যে ক্যাথোড রশ্মি পরস্পরকে বিকর্ষিত করে।



চিত্র—1চ

(vii) **চৌম্বক ক্ষেত্রে ক্যাথোড রশ্মি বাঁকিয়া যায় ঃ** 1গ নং চিত্রে ক্ষরণ নলের উপরে কোন শক্তিশালী চুম্বক ধরিলে তারকা চিহ্নিত ছায়াটি একদিকে সরিয়া যাইবে। চুম্বকটিকে অন্যদিকে রাখিলে ছায়াটি বিপরীত দিকে সরিয়া যাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে চৌম্বক ক্ষেত্রে ক্যাথোড রশ্মি বাঁকিয়া যায়।

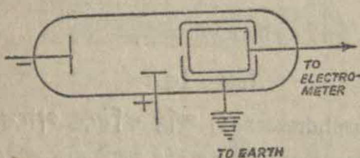
(viii) **বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে ক্যাথোড রশ্মি বাঁকিয়া যায় ঃ** উপরের পরীক্ষায় চৌম্বক ক্ষেত্রের বদলে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলেও একই ধরনের ফল পাওয়া যাইবে। সুতরাং বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে ক্যাথোড রশ্মি বাঁকিয়া যায়।

(ix) **ক্যাথোড রশ্মি পাতলা ধাতব পাত ভেদ করিয়া যাইতে পারে ঃ** পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে প্রায় ·00৲ মিমি. পুরু অ্যালুমিনিয়ামের পাতের ভিতর দিয়া ক্যাথোড রশ্মি যাইতে পারে। পাত হইতে নির্গত রশ্মিকে **লেনার্ড রশ্মি** (Lenard rays) বলা হয়।

(x) **ক্যাথোড রশ্মি আয়নিত করার ক্ষমতা রাখে:** কোন গ্যাসের ভিতর দিয়া ক্যাথোড রশ্মি প্রবাহিত হইলে উহা গ্যাসকে আয়নিত করিয়া দেয়।

(xi) **আলোর ন্যায় ক্যাথোড রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটে বিক্রিয়া ঘটায়।**

(xii) **ক্যাথোড রশ্মি ঋণাত্মক আধান বহন করে:** 1895 খৃষ্টাব্দে বিজ্ঞানী পেরিন ইহা প্রমাণ করিতে সমর্থ হন। 1ছ নং চিত্রে একটি ক্ষরণ নল দেখানো হইয়াছে। ডানদিকে দুইটি আয়তাকার চোঙ রহিয়াছে এবং বাহির ও ভিতরের চোঙ যথাক্রমে পৃথিবী এবং ইলেক্‌ট্রোমিটারের সহিত যুক্ত। চোঙ দুইটির সমন্বয়কে ফ্যারাডে চোঙ (Faraday cage) বলা হয়। ফ্যারাডে-চোঙের উপর ক্যাথোড রশ্মি আপতিত হইলে ইলেট্রোমিটারের বিক্ষেপ ঘটিবে। বিক্ষেপের প্রকৃতি দেখিয়া সিদ্ধান্ত করা যায় যে ক্যাথোড রশ্মি ঋণাত্মক আধান বহন করে।



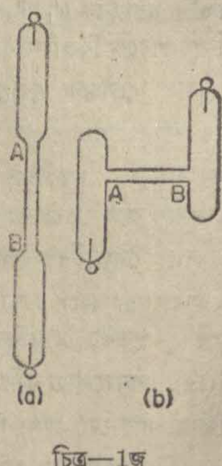
চিত্র—1ছ

(xiii) **ক্যাথোড রশ্মির কণিকাগুলির ভর এবং আধান নির্দিষ্ট।**

(xiv) **ক্যাথোড রশ্মি ধাতুর উপর আপতিত হইয়া বিশেষ অবস্থায় এক্স-রশ্মি উৎপন্ন করে।**

1.6. তড়িৎ মোক্ষণ ঘটনার ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of the discharge phenomenon): অল্প চাপে গ্যাসের ভিতর দিয়া তড়িৎমোক্ষণকে আমাদের দৈনন্দিন জীবনে বহু কাজে লাগানো হয়। নিম্নে কয়েকটি ব্যবহারের কথা বলা হইল।

(*a*) **গাইস্‌লার নল** (Geissler tubes): বিজ্ঞানী গাইস্‌লার এই ধরনের নল আবিষ্কার করেন। বর্ণালী বীক্ষণ কাজে এই নল বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।



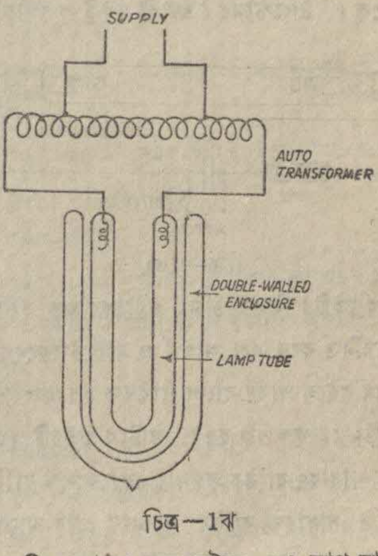
চিত্র—1জ

1জ চিত্রে দুইটি বিভিন্ন আকারের গাইস্‌লার নল দেখানো হইয়াছে। যে-কোন নলে দুইটি করিয়া তড়িৎদ্বার থাকে এবং নলের ভিতরে মোটামুটি 1 মিমি. পারদ চাপে পরীক্ষণীয় গ্যাসকে রাখা হয়। তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটিলে নলের ভিতর ধনাত্মক স্তম্ভের আবির্ভাব ঘটিবে এবং

নির্গত আলোককে পরীক্ষা করিলে পরীক্ষণীয় গ্যাসের বর্ণালী পাওয়া যাইবে। নলের মধ্যভাগের কিছুটা অংশ সরু থাকে বলিয়া সেই অংশে প্রবাহ-ঘনত্ব বেশী হইবে এবং সেই অংশ হইতে নির্গত আলোকও খুব উজ্জল হইবে। নির্গত আলোকের রঙ পরীক্ষণীয় গ্যাসের উপর নির্ভর করিবে। নলের ভিতর নিয়ন গ্যাস থাকিলে আলোর রঙ লাল, পারদ বাষ্প থাকিলে আলোর রঙ নীলাভ-সবুজ হইবে।

(b) **নিয়ন সাইন** (Neon sign) : নিয়ন সাইন রাত্রিবেলায় বিজ্ঞাপনের কাজে বিশেষভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। স্বল্প চাপে তড়িৎ-মোক্ষণের উপর নিয়ন সাইনের কার্যনীতি নির্ভরশীল। বিজ্ঞাপন অনুযায়ী সরু কাচের নলকে বাঁকাইয়া তাহার দুই প্রান্তে দুইটি তড়িৎ-দ্বার ঢুকাইয়া সীল করা হয়। তারপর নলটিকে বায়ুশূন্য করিয়া মোটামুটি 5 মিমি. পারদ চাপে নিয়ন গ্যাস ভর্তি করা হয়। উপযুক্ত বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটিবে এবং নল জুড়িয়া নিয়নের ধনাত্মক স্তম্ভের আবির্ভাব ঘটিবে। নিয়নের ধনাত্মক স্তম্ভের রঙ আকর্ষণীয়ভাবে লাল বলিয়া মানুষ সহজেই আকৃষ্ট হয় এবং বিজ্ঞাপনের উদ্দেশ্য সফল হয়। বিভিন্ন গ্যাস বা বিভিন্ন গ্যাসের সংমিশ্রণ ব্যবহার করিয়া বিভিন্ন রঙের সৃষ্টি করা যাইতে পারে।

(c) **সোডিয়াম ও পারদ বাষ্পবাতি** (Sodium and mercury vapour lamps) : রাস্তা আলোকিত করার জন্য এবং বর্ণালী পরীক্ষার কাজে একরঙা (monochromatic) আলোকের উৎস হিসাবে সোডিয়াম বাষ্পবাতি ব্যবহার করা হয়। এই ধরনের বাতিতে একটি U-আকারের কাচের নল থাকে এবং নলের দুই প্রান্তে দুইটি তড়িৎ-দ্বার থাকে। নলের ভিতরে আয়নয়নের সুবিধার জন্য অল্প চাপে সামান্য পরিমাণ নিয়ন গ্যাস রাখা হয় এবং নলের ভিতরের দেওয়ালে জায়গায় জায়গায় সোডিয়াম ধাতুর প্রলেপ দেওয়া থাকে (চিত্র 1ঝ)। তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু করিতে হইলে অপেক্ষাকৃতভাবে বেশী বিভবের দরকার হয় বলিয়া উপযুক্ত ধরনের ট্রানসফরমার (transformer) ব্যবহৃত হয়। বৈদ্যুতিক বর্তনী



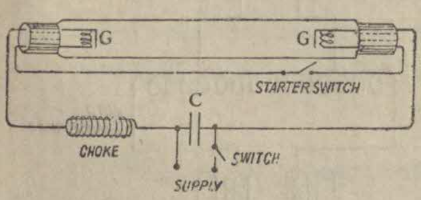
চিত্র—1ঝ

সংহত করা হইলে প্রথমে নিয়ন গ্যাসে তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু হইবে এবং তাপ-মাত্রা

বাড়িতে থাকিবে। ইহার ফলে সোডিয়াম ধাতু বাষ্পীভূত হইবে এবং আয়নয়নের ফলে সোডিয়াম ধাতুর বাষ্পে তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটিতে থাকিলে উজ্জ্বল হলুদ রঙের আলো পাওয়া যাইবে। কার্যকর অবস্থায় তাপমাত্রা প্রায় 300°C হয় বলিয়া U-নলের চারি পাশে বায়ুশূন্য কাচের জ্যাকেট রাখা হয় এবং ইহা তাপের অন্তরক হিসাবে কাজ করে।

পারদবাষ্প বাতির গঠনপ্রণালী ও কার্যনীতি সোডিয়াম বাষ্প বাতির মতই। কিন্তু পারদ বাষ্পবাতিতে সোডিয়াম ও নিয়নের বদলে পারদ ও আর্গন ব্যবহৃত হয়। তাছাড়া আয়নয়ন শুরু করার জন্য আর একটি বাড়তি তড়িৎ-দ্বার ব্যবহার করা হয়। এই ধরনের বাতি হইতে নীলাভ-বেগুনি আলোক নির্গত হয়। বর্তমানে রাস্তাঘাট আলোকিত করার কাজে পারদ বাষ্প বাতি বিশেষভাবে ব্যবহৃত হইতেছে।

(d) **ফ্লোরেসেন্ট বাতি** (Fluorescent lamps): ফ্লোরেসেন্ট বাতির কার্যনীতি অল্প চাপের গ্যাসে তড়িৎ-মোক্ষণের উপর নির্ভরশীল। এই ধরনের বাতিতে একটি কাচের নল থাকে যাহার ব্যাস প্রায় 1·5 ইঞ্চি এবং দৈর্ঘ্য সাধারণতঃ 2 ফুট বা 4 ফুট হইয়া থাকে। নলের ভিতরের অংশে ক্যাডমিয়াম বোরেট বা জিঙ্ক সালফেট ধরণের কোন প্রতিপ্রভ বস্তুর প্রলেপ দেওয়া থাকে। নলটিকে বায়ুশূন্য করিয়া তাহার ভিতরে অল্প অল্প পরিমাণে আরগন, নাইট্রোজেন ও পারদ ঢোকানো হয় এবং এই অবস্থায় ভিতরের চাপ মোটামুটিভাবে 1 মিমি. পারদস্তম্ভ চাপের সমান থাকে। টাংস্টেনের তৈয়ারী দুইটি কুণ্ডলীকৃত তড়িৎ-দ্বারের সামনে দুইটি ধাতবপাত (G, G) রাখা হয় এবং পাত দুইটি দ্রুত গতিবেগে ধাবমান ইলেকট্রনের হাত হইতে তড়িৎ-দ্বার দুইটিকে রক্ষা করে (চিত্র 1 ঞ)। ষ্টার্টার সুইচটি বাতির সহিত সমান্তরাল সমবায়ে থাকে। ষ্টার্টার সুইচ টিপিলে তড়িৎ-দ্বার দুইটির ভিতর তড়িৎ-প্রবাহের জন্য ইলেকট্রন নির্গত হয় এবং ইহা আরগনকে আয়নিত করে এবং আর্গন ও নাইট্রোজেনের ভিতর তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু হয়। নলটি গরম হইলে পারদ বাষ্পে পরিণত হয় এবং তাহার পরে পারদ বাষ্পের ভিতর দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু হয়। ষ্টার্টার সুইচটি স্বয়ংক্রিয়ভাবে বন্ধ হইয়া যায়।



চিত্র—1ঞ

সাধারণ বাতির তুলনায় ফ্লোরেসেন্ট বাতির সুবিধা অনেক বেশী। এই ধরনের বাতি সাধারণ বাতির তুলনায় প্রায় আড়াই গুণ বেশী আলো দেয়। তাছাড়া এই বাতির আলো ছায়ার সৃষ্টি করে না এবং তাপমাত্রা কম বলিয়া স্নিগ্ধ আলোক

পাওয়া যায়। আলোর প্রকৃতি অনেকটা দিনের আলোর মত এবং এই আলো চোখের পক্ষে ক্ষতিকারক নয়। এই ধরনের বাতির পরমায়ু অপেক্ষাকৃতভাবে অনেক বেশী।

1·7. ইলেকট্রনের তড়িতাধান, ভর ও শক্তি (Charge, mass and energy of an electron) **:** বিভিন্ন পরীক্ষার সাহায্যে ইলেকট্রনের তড়িতাধান, ভর ইত্যাদির মান নির্ণয় করা হয়। তাহাদের মানগুলি নিম্নরূপ :

ইলেকট্রনের তড়িতাধান, $e=4·803\times10^{-10}$ ই. এস্. ইউ.

ইলেকট্রনের ভর, $m=9·1\times10^{-28}$ গ্রাম।

আমরা জানি, হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর $=1·67\times10^{-24}$ গ্রাম।

$$\therefore\ \frac{\text{হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর}}{\text{ইলেকট্রনের ভর}}=\frac{1·67\times10^{-24}}{9·1\times10^{-28}}=1835\ (\text{প্রায়})।$$

প্রকৃতিতে পরমাণু হিসাবে হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর সর্বাপেক্ষা কম। কিন্তু এই হাইড্রোজেন পরমাণুই আবার ইলেকট্রন অপেক্ষা প্রায় 1835 গুণ ভারী।

পরমাণু-সংক্রান্ত শক্তির ব্যবহারিক একক হিসাবে ইলেকট্রন-ভোল্ট ব্যবহৃত হয়। একটি ইলেকট্রনকে 1 ভোল্ট বিভব-প্রভেদের ভিতর লইয়া যাইতে যে পরিমাণ কাজের প্রয়োজন হয় তাহাকে **1 ইলেকট্রন ভোল্ট** (electron-volt) বলা হয়। ইলেকট্রন-ভোল্টকে সংক্ষেপে eV লেখা হয়।

$$\therefore\ 1\,eV=1\ \text{ই. এস্. ইউ. তড়িতাধান}\times1\ \text{ভোল্ট}$$

$$=4·803\times10^{-10}\times\tfrac{1}{300}\qquad[\because\ 1\ \text{ভোল্ট}=\tfrac{1}{300}\ \text{ই. এস্. ইউ.}]$$

$$=1·601\times10^{-12}\ \text{আর্গ।}$$

ইলেকট্রন-ভোল্ট এককটি ছোট বলিয়া অনেক সময় কিলো-ইলেকট্রন-ভোল্ট (KeV) এবং মিলিয়ন ইলেকট্রন-ভোল্ট (MeV) ব্যবহৃত হয়।

$$1\ KeV=10^3eV\ \text{এবং}\ 1\ MeV=10^6eV.$$

কোন ইলেকট্রনের ভর m, এবং আধান e ধরা হইল। V বিভব-প্রভেদের মধ্য দিয়া যাওয়ার ফলে ইলেকট্রনটির গতিবেগ v হইলে, শক্তির সংরক্ষণ নীতি অনুযায়ী

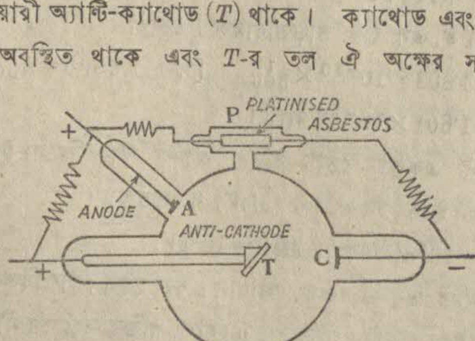
$$\tfrac{1}{2}mv^2=eV\quad\text{বা,}\ v=\sqrt{\frac{2eV}{m}}.$$

1.8. এক্স-রশ্মির আবিষ্কার (Discovery of X-rays) **:** 1895 খ্রীষ্টাব্দে অধ্যাপক রঞ্জেন (Roentgen) ক্যাথোড রশ্মি লইয়া গবেষণা করিবার সময় আকস্মিক ভাবে এক্স-রশ্মি আবিষ্কার করেন। তিনি লক্ষ্য করেন যে ক্ষরণ নলটি কার্যকর অবস্থায় থাকিলে পাশে রাখা ব্যারিয়াম প্লাটিনো-সায়ানাইড প্লেট (প্রতিপ্রভ পর্দা)

হইতে প্রতিপ্রভার জন্য আলোক নির্গত হইতেছে। তিনি সিদ্ধান্ত করেন যে কোন অদৃশ্য রশ্মি ক্ষরণ-নল হইতে নির্গত হইয়া এই প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করিতেছে। বীজগণিতে যেমন কোন অজানা বস্তুকে X-দ্বারা সূচিত করা হয় সেই রকম এই অজানা রশ্মির নাম দেওয়া হয় **এক্স-রশ্মি** (X-rays)। আবিষ্কর্তার নাম অনুসারে এই রশ্মিকে **রঞ্জন রশ্মি** নামেও অভিহিত করা হয়। ক্যাথোড হইতে নির্গত ক্যাথোড রশ্মি (অর্থাৎ দ্রুতগামী ইলেকট্রন গুচ্ছ) কোন কঠিন বস্তুতে আঘাত করিলে উহার গতিশক্তির কিছু পরিমাণ তাপশক্তিতে এবং কিছু পরিমাণ অদৃশ্য আলোক রশ্মিতে রূপান্তরিত হয়। এই অদৃশ্য আলোক রশ্মিকে এক্স-রশ্মি বলা হয়। এই নীতি অবলম্বন করিয়া পরীক্ষাগারে এক্স-রশ্মি প্রস্তুত করা হয়। এক্স-রশ্মি প্রস্তুত করিবার জন্য (*a*) এক্স-রশ্মি বাল্‌ব্ এবং (*b*) কুলীজ নল ব্যবহৃত হয়।

1.9. এক্স-রশ্মির উৎপাদন (Production of X-rays) :

(*a*) **এক্স-রশ্মি বালব** (X-rays bulb) : প্রকৃতপক্ষে ইহা একটি বিশেষ ধরনের ক্ষরণ বালব্ (চিত্র 1ট)। ইহার ভিতরে বায়ুর চাপ সাধারণত 10^{-3} হইতে 10^{-4} মিমি পারদ চাপের সমান হইয়া থাকে। ক্যাথোড (C) অবতল আকারের এবং সাধারণতঃ অ্যালুমিনিয়ামের তৈয়ারী। অ্যানোড (A) এবং ক্যাথোড এক সরলরেখায় থাকে না। ক্যাথোডের বক্রতা কেন্দ্রে উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট প্লাটিনাম বা টাংস্টেনের তৈয়ারী অ্যান্টি-ক্যাথোড (T) থাকে। ক্যাথোড এবং অ্যান্টি-ক্যাথোড একই অক্ষে অবস্থিত থাকে এবং T-র তল ঐ অক্ষের সহিত 45° কোণ



চিত্র—1ট

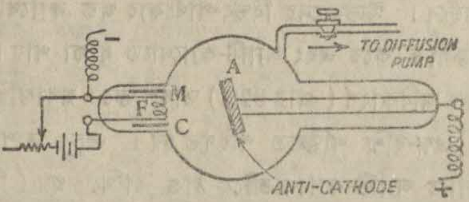
উৎপন্ন করে। অ্যানোড এবং অ্যান্টি-ক্যাথোড পরিবাহী তার দ্বারা পরস্পর সংযুক্ত থাকে। অ্যানোড এবং আন্টি-ক্যাথোড থাকার জন্য যন্ত্রটি ভাল কাজ করে। মূল বালবের সহিত সংযুক্ত একটি পার্শ্বনল (P) থাকে এবং ইহার ভিতরে প্যালাডিয়াম বা প্লাটিনামে চোবানো অ্যাসবেষ্টস রাখা হয়। ইহার জন্য যন্ত্রটির

কার্যকারিতা বাড়িয়া যায়। তড়িৎদ্বার দুইটিকে আবেশকুণ্ডলী অথবা ট্রান্সফরমারের সহিত যুক্ত করিয়া 30,000 হইতে 50,000 ভোল্ট বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে এক্স-রশ্মি উৎপন্ন হইবে। উচ্চমানের বিভব-পার্থক্যের জন্য ক্যাথোড রশ্মিগুলি প্রচুর পরিমাণে গতিশক্তিলাভ করে এবং অ্যান্টি-ক্যাথোডে ধাক্কা খায়। ধাক্কা খাওয়ার ফলে এই গতিশক্তির অধিকাংশ (প্রায় 97%) তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং বাকী অংশ (প্রায় 3%) এক্স-রশ্মি শক্তিতে পরিণত হয়। প্রচুর তাপশক্তি উৎপন্ন হয় বলিয়া কৃত্রিম উপায়ে অ্যান্টি-ক্যাথোডটিকে ঠাণ্ডা রাখিতে হয় (চিত্রে দেখানো হয় নাই)। এইযন্ত্রে বায়ুর চাপ খুব কম থাকে বলিয়া বায়ুর অণুর সংখ্যাও কম থাকে। যন্ত্রটি কিছুক্ষণ কার্যরত থাকিলে কাচের দেওয়াল অণুগুলিকে শোষণ করিয়া লয় এবং ইহার ফলে আধানের বাহক আয়নের উৎপাদন বন্ধ হইয়া যায়। সেক্ষেত্রে মূলতড়িৎ-মোক্ষণ বন্ধ হইয়া যায় এবং সমান্তরাল সমবায়ে অবস্থিত P বিন্দু দিয়া স্পার্ক দেখা যায়। স্পার্কের ফলে প্যালাডিয়াম বা প্লাটিনামে ভেজানো অ্যাসবেষ্টস উত্তপ্ত হয় এবং কিছু পরিমাণ গ্যাস সেইস্থান হইতে নির্গত হইয়া যন্ত্রটিকে পুনরায় কার্যক্ষম করিয়া তোলে।

এই ধরনের যন্ত্রে সাধারণতঃ কোমল এক্স-রশ্মি (soft X-rays) উৎপন্ন হয়। কোমল রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত ভাবে বেশী এবং ভেদন ক্ষমতা কম। প্রযুক্ত বিভব-পার্থক্য বাড়াইলে এক্স-রশ্মির প্রাবল্য এবং ভেদন ক্ষমতা বাড়িয়া যাইবে। এক্স-রশ্মির ভেদন ক্ষমতা অ্যান্টি-ক্যাথোড হিসাবে ব্যবহৃত ধাতুর পারমাণবিক গুরুত্বের উপরেও নির্ভর করে।

(*b*) **কুলীজ নল** (Coolidge tube) : 1913 খৃষ্টাব্দে কুলীজ এই যন্ত্র আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রে একটি বায়ুশূন্য কাচের গোলকের ভিতরে ক্যাথোড (F) এবং অ্যানোড (A) ঢোকানো থাকে (চিত্র 1১)। অ্যানোডের গায়ে উচ্চ গলনাঙ্ক এবং উচ্চ পারমাণবিক গুরুত্ব বিশিষ্ট টান্টেলাম, প্লাটিনাম অথবা টাংস্টেনের একটি পাত লাগানো থাকে। ইহাকে অ্যান্টি-ক্যাথোড বলা হয়। অ্যান্টি-ক্যাথোডটি তড়িৎদ্বার দুইটির অক্ষের সহিত 45° কোণে আনত এবং গোলকের কেন্দ্রস্থলে অবস্থিত থাকে। টাংস্টেনের ফিলামেণ্ট (F) ক্যাথোড হিসাবে কাজ করে এবং ফিলামেণ্টটি ব্যাটারী ও পরিবর্তনীয় রোধের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত থাকে। ফিলামেণ্টের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ ঘটাইলে উহার তাপমাত্রা বাড়িয়া যাইবে (প্রায় 2000°C) এবং ফিলামেণ্ট হইতে ইলেকট্রন নির্গত হইতে থাকিবে। ফিলামেণ্টকে ঘিরিয়া মলিব-ডেনামের একটি ফাঁপা চোঙ (MC) থাকে এবং এই চোঙটি নির্গত ইলেকট্রনগুলিকে কেন্দ্রীভূত করিতে সাহায্য করে। ইলেকট্রনগুলি ঋণাত্মক বলিয়া তাহারা ধনাত্মক

অ্যানোড কর্তৃক আকর্ষিত হয়। তড়িৎদ্বার দুইটির মধ্যে প্রযুক্ত বিভব-পার্থক্যের মান খুব বেশী (প্রায় এক লক্ষ ভোল্ট) বলিয়া ইলেকট্রনগুলি প্রচুর গতিশক্তি লাভ



চিত্র—1ঠ

করে এবং সজোরে অ্যান্টি ক্যাথোডে ধাক্কা মারে। ইহার ফলে এক্স-রশ্মি উৎপন্ন হয়। ধাক্কা খাওয়ার ফলে গতিশক্তির অধিকাংশ (প্রায় 97%) তাপশক্তিতে এবং বাকী অংশ (প্রায় 3%) এক্স-রশ্মিতে পরিণত হয়। প্রচুর তাপশক্তি উৎপন্ন হয় বলিয়া কৃত্রিম উপায়ে অ্যান্টি-ক্যাথোডটিকে ঠাণ্ডা রাখিতে হয়। বর্তমানে এক্স রশ্মি উৎপাদনের জন্য সাধারণত কুলীজ নল ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্র হইতে নিরবিচ্ছিন্নভাবে এক্স-রশ্মি পাওয়া যায়। তাছাড়া ফিলামেন্টের তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তিত করিয়া উৎপন্ন এক্স-রশ্মির প্রাবল্য এবং প্রযুক্ত বিভব-পার্থক্য পরিবর্তিত করিয়া উহার গুণগত বিশিষ্টতা (quality) পরিবর্তিত করা সম্ভব।

আরও শক্তিশালী এক্স-রশ্মি উৎপাদনের জন্য **বিটাট্রন** (Betatron) যন্ত্র ব্যবহৃত হইয়া থাকে। 1940 খৃষ্টাব্দে বিজ্ঞানী কের্স্ট (Kerst) এই যন্ত্রটি আবিষ্কার করেন।

1.10. এক্স-রশ্মির ধর্মাবলী (Properties of X-rays):

(i) এক্স-রশ্মি অদৃশ্য। সাধারণ আলোক রশ্মির ন্যায় এক্স-রশ্মি মানুষের চক্ষুতে দর্শনের অনুভূতি সৃষ্টি করে না।

(ii) আলোকের গতিবেগে এবং সরলরেখায় এক্স-রশ্মি গমন করে।

(iii) তথাকথিত অনেক অস্বচ্ছ বস্তু যথা মাংস, কাঠ, কাগজ, ইত্যাদির ভিতর দিয়া এক্স-রশ্মি সহজেই ভেদ করিয়া যাইতে পারে। এই কারণেই এক্স-রশ্মির সাহায্যে হাতের ফটোগ্রাফ তুলিলে ফটোতে হাড়ের স্পষ্ট ছবি পাওয়া যাইবে। তরঙ্গ দৈর্ঘ্য যত কম হইবে এক্স-রশ্মির ভেদন-ক্ষমতা তত বাড়িয়া যাইবে। বেশী ভেদন-ক্ষমতা সম্পন্ন এক্স-রশ্মিকে **তীক্ষ্ণ রশ্মি** (Hard rays) বলা হয়। যে রশ্মি সহজেই শোষিত হইয়া যায় তাহাকে **কোমল রশ্মি** (Soft rays) বলে। এক্স-রশ্মি উৎপাদনের যন্ত্রে প্রযুক্ত বিভব-প্রভেদ বেশী হইলে রশ্মির তীক্ষ্ণতা বাড়িয়া যাইবে।

(iv) তড়িৎ অথবা চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে এক্স-রশ্মি গন্তব্য পথ হইতে বাঁকিয়া যায় না। ইহা প্রমাণ করে যে এক্স-রশ্মিতে কোন আধান থাকে না।

(v) কোন গ্যাসে এক্স-রশ্মি গমন করিলে উহা আয়নিত হইয়া যায়।

(vi) বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড, জিঙ্ক সালফাইড প্রভৃতি কয়েকটি বিশেষ পদার্থে এক্স-রশ্মি আপতিত হইয়া প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে।

(vii) সাধারণ আলোকের ন্যায় এক্স-রশ্মিও ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর বিক্রিয়া ঘটায়।

(viii) এক্স-রশ্মি এক ধরনের তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ এবং ইহার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য খুব কম ($10^{-6}-10^{-9}$ সেমি.)। দৃশ্য আলোক রশ্মির ন্যায় এক্স-রশ্মিরও প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, সমবর্তন ইত্যাদি দেখা যায়। কিন্তু তরঙ্গ দৈর্ঘ্য খুব কম বলিয়া সাধারণ দর্পণ ইত্যাদির বদলে কেলাস ব্যবহার করিতে হয়।

(ix) কোন কোন বস্তুর উপর এক্স-রশ্মি আপতিত হইলে বস্তুটি হইতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। ইহাকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া (photo-electric effect) বলে।

(x) এক্স-রশ্মি জীবন্ত কোষকে ধ্বংস করিতে পারে। শরীরের উপর অনেকক্ষণ এক্স-রশ্মি পড়িলে উহা শরীরের পক্ষে ক্ষতিকারক হইয়া উঠে।

(xi) এক্স-রশ্মির প্রভাবে জীব কোষের জিনের (genes) চারিত্রিক ধর্মাবলী পরিবর্তিত হয়। বর্তমানে এই বিষয় লইয়া প্রচুর গবেষণা চলিতেছে।

1.11. এক্স-রশ্মির ব্যবহার (Uses of X-rays): নীচে এক্স-রশ্মির কয়েকটি প্রয়োজনীয় ব্যবহারের কথা উল্লেখ করা হইল।

চিকিৎসা ক্ষেত্রে: এক্স-রশ্মি তথাকথিত অনেক অস্বচ্ছ বস্তু যথা মাংস, চামড়া, কাঠ ইত্যাদির ভিতর দিয়া ভেদ করিয়া যাইতে পারে। এক্স-রশ্মির সাহায্যে ফটো তুলিয়া হাড় ভাঙ্গিয়াছে কি-না, শরীরের ভিতরে বুলেট আছে কি-না ইত্যাদি জানা সম্ভব। এক্স-রশ্মির সাহায্যে যক্ষ্মারোগ, ক্যানসার, টিউমার ইত্যাদি নির্ণয় করা সম্ভব। উপযুক্ত ভাবে এবং উপযুক্ত মাত্রায় এক্স-রশ্মি প্রয়োগ করিয়া ক্যানসার, চর্মরোগ ইত্যাদির চিকিৎসা করা যাইতে পারে।

শিল্প ক্ষেত্রে: ধাতুর তৈরী কড়ি, বরগা, ঢালাই করা কোন বস্তু ইত্যাদির ভিতর খুঁত আছে কি-না তাহা নির্ণয় করিবার জন্য এক্স-রশ্মি ব্যবহার করা যাইতে পারে। তাছাড়া ঝিনুকের ভিতর মুক্তা আছে কিনা তাহাও এক্স-রশ্মির সাহায্যে জানা যায়।

গোয়েন্দা বিভাগে: গোয়েন্দা বিভাগের কর্মীরা আবদ্ধ পেটিকার ভিতর কোন নিষিদ্ধ বস্তু আছে কি-না তাহা নির্ণয় করিবার জন্য এক্স-রশ্মি ব্যবহার করিয়া থাকেন। অনেক সময় ধরা পড়ার ভয়ে চোরেরা সোনার গহনা, মুক্তা ইত্যাদি গিলিয়া ফেলে। সেক্ষেত্রেও এক্স-রশ্মি প্রয়োগ করিয়া তাহাদের অস্তিত্ব নির্ণয় করা সম্ভব।

বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে ঃ এক্স-রশ্মির সাহায্যে পরমাণু ও কেলাসের গঠনশৈলী বিষয়ক নানা মূল্যবান তথ্য জানা সম্ভব। উচ্চতর বৈজ্ঞানিক গবেষণার বিভিন্ন শাখায় এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

1-12. এক্স-রশ্মির প্রকৃতি (Nature of X-rays): তড়িৎ অথবা চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে এক্স-রশ্মি গন্তব্য পথ হইতে বাঁকিয়া যায় না। সুতরাং এক্স-রশ্মি তড়িতাহত কণার সমষ্টি হইতে পারে না। পরবর্তী কালে পরীক্ষার সাহায্যে বিজ্ঞানী ফ্রেডরিক লিপিং এক্স-রশ্মির অপবর্তন, বিজ্ঞানী ব্রাগ (Bragg) এক্স-রশ্মির প্রতিফলন, বিজ্ঞানী ষ্টেনষ্ট্রম এক্স-রশ্মির প্রতিসরণ এবং বিজ্ঞানী কম্পটন এক্স-রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন প্রমাণ করিতে সমর্থ হন। এই সমস্ত ঘটনা প্রমাণ করে যে এক্স-রশ্মি তরঙ্গ-ধর্মী। আমরা জানি উপরের ধর্মাবলী তির্যক তরঙ্গ অথবা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ উভয় প্রকার তরঙ্গেই বিদ্যমান থাকে। কিন্তু সমবর্তন (polarisation) কেবলমাত্র তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রেই সম্ভব। পরবর্তী কালে বিজ্ঞানী বার্কলা এক্স-রশ্মির সমবর্তন প্রমাণিত করেন। সুতরাং আমরা বলিতে পারি যে এক্স-রশ্মি আলোকের ন্যায় তির্যক তরঙ্গ এবং তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। অবশ্য এক্স-রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক কম।

উদাহরণমালা

1. একটি ইলেকট্রনের আধানে আহিত 10^{-5} সেমি. ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট কোন জলবিন্দুকে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিয়া শূন্যে ধরিয়া রাখিতে হইবে। ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর। [A water drop of radius 10^{-5} cm. is charged with 1 electron. Calculate the electric field required to keep it stationary. $e=4{\cdot}80\times10^{-10}$ e. s. u.; $g=980$ cm./sec^2.]

উঃ নির্ণেয় বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র X হইলে জলবিন্দুর উপর বৈদ্যুতিক আকর্ষণ $=Xe$

জলবিন্দুর ওজন $=mg=\frac{4}{3}\pi a^3\rho g$

যেখানে $a=$ ব্যাসার্ধ এবং $\rho=$ জলের ঘনত্ব।

জলবিন্দুটি শূন্যে স্থির থাকিলে, $Xe=mg=\frac{4}{3}\pi a^3\rho g$

$$\therefore \quad X=\frac{4.\pi a^3\rho g}{3e}=\frac{4\times3{\cdot}14\times(10^{-5})^3\times1\times980}{3\times4{\cdot}8\times10^{-10}}$$

$=8{\cdot}56\times10^{-3}$ ই. এস্. ইউ./সেমি.

2. ইলেকট্রনের গতিবেগ $=10^9$ সেমি./সে. এবং ভর $=9{\cdot}1\times10^{-28}$ গ্রাম হইলে ইলেকট্রনটির গতিশক্তি নির্ণয় কর। ইলেকট্রনের আধান $=4{\cdot}8\times10^{-10}$ ই. এস্. ইউ. [Calculate the energy of an electron moving with a velocity

of 10^9 cm./sec., given that mass of the electron $=9{\cdot}1\times10^{-28}$ gm. and charge $=4{\cdot}8\times10^{-10}$ e. s. u.]

উ: গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times9{\cdot}1\times10^{-28}\times(10^9)^2$

$=4{\cdot}55\times10^{-10}$ আর্গ

$=\frac{4{\cdot}55\times10^{-10}}{1{\cdot}6\times10^{-12}}$ ইলেকট্রন-ভোল্ট

[∵ $1eV=1{\cdot}6\times10^{-12}$ আর্গ]

$=284{\cdot}4\ eV.$

3. কুলীজ নলের অ্যানোডে ইলেক্ট্রন ধাক্কা মারিয়া 10^{-8} সে. মি. তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি উৎপন্ন করে। ধাক্কা মারার ঠিক পূর্বে ইলেকট্রনের গতিশক্তি কত বাহির কর। দেওয়া আছে : $h=6{\cdot}62\times10^{-27}$ আর্গ-সেকেণ্ড ; $e=4{\cdot}8\times10^{-10}$ ই. এস্. ইউ., ইলেকট্রনের ভর $=9{\cdot}1\times10^{-28}$ গ্রাম। [Eelctrons bombarding the anode of a Coolidge tube produce X-rays of wave-length 1 A. U. Find the energy of each electron at the moment of impact. Given ; $h=6{\cdot}62\times10^{-27}$ erg-sec ; $e=4{\cdot}8\times10^{-10}$ e. s. u., mass of electron $=9{\cdot}1\times10^{-28}$ gm.]

উঃ নির্ণেয় গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=h\,\nu=\frac{hc}{\lambda}$ $\left[\because\right.$ কম্পাঙ্ক $(\nu)=\frac{\text{গতিবেগ }(c)}{\text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য }(\lambda)}\left.\right]$

$=\frac{6{\cdot}62\times10^{-27}\times3\times10^{10}}{10^{-8}}$ আর্গ

$=\frac{6{\cdot}62\times10^{-27}\times3\times10^{10}}{10^{-8}\times1{\cdot}6\times10^{-12}}$ ইলেকট্রন ভোল্ট $=1{\cdot}24\times10^4\ eV$.

প্রশ্নাবলী

1. সাধারণ চাপে গ্যাসে তড়িৎপ্রবাহ কিরূপ হইবে তাহা ব্যাখ্যা কর। বিভব প্রভেদের সহিত আয়নয়ন প্রবাহের পরিবর্তনের প্রকৃতি আলোচনা কর। [Explain the nature of conduction of electricity through gases at normal pressure. Discuss how the ionisation would change when the applied voltage is changed.]

2. তড়িৎ মোক্ষণ নলে চাপ ক্রমশঃ কমাইতে থাকিলে উদ্ভূত ঘটনাবলীর বর্ণনা দাও। ক্যাথোড রশ্মি কাহাকে বলে ? [Describe the phenomena of electric discharge when the pressure inside a discharge tube is gradually decreased. What are cathode rays ?]

3. ক্যাথোড রশ্মি কিভাবে উৎপন্ন করা যায় তাহা লিখ। ক্যাথোড রশ্মির ধর্মাবলী আলোচনা কর। পরীক্ষার সাহায্যে কিরূপে ক্যাথোড রশ্মির প্রকৃতি জানা যায় তাহার বর্ণনা দাও। [Describe how

cathode rays can be produced. Discuss the properties of cathode rays. Explain how the nature of cathode rays can be experimentally established.]

4. তড়িৎ মোক্ষণ ঘটনার কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ লিখ। [Describe some practical applications of electrical discharge phenomena.]

5. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ :—(a) গাইস্‌লার নল, (b) নিয়ন সাইন, (c) সোডিয়াম বাষ্প বাতি ও (d) ফ্লোরোসেন্ট বাতি। [Write short notes on : (a) Geissler tubes, (b) Neon sign, (c) Sodium vapour lamp and (d) Fluorescent lamp.]

6. এক্স-রশ্মি কিরূপে আবিষ্কৃত হয়? এক্স-রশ্মি উৎপাদনের একটি পদ্ধতির বর্ণনা দাও। এক্স-রশ্মির ব্যবহারিক প্রয়োগ লিখ। [How were the X-rays discovered ? Describe any method of producing X-rays. State some practical applications of X-rays.]

7. এক্স-রশ্মি কাহাকে বলে? এক্স-রশ্মির ধর্মাবলীর বর্ণনা দাও। সংক্ষেপে এক্স-রশ্মির প্রকৃতি সম্বন্ধে লিখ। [What are X-rays ? Describe the properties of X-rays. Discuss briefly the nature of X-rays.]

8. ক্যাথোড রশ্মির সহিত এক্স-রশ্মির সম্পর্ক কি? [How are the cathode rays related to X-rays ?]

9. ইলেকট্রন-ভোল্ট কাহাকে বলে? আর্গের সহিত ইলেকট্রন-ভোল্টের সম্পর্ক নির্ণয় কর। [What is an electron-volt ? Deduce the relationship between an erg and an electron-volt.]

দ্বিতীয় অধ্যায়

তাপীয় আয়ন নিঃসরণ ও উহার প্রয়োগ

(Thermionic emission and its applications)

2.1. **ইলেকট্রন নিঃসরণ** (Electron emission) : সামগ্রিকভাবে পরমাণু তড়িৎ-উদাসীন। পরমাণুর কেন্দ্রীনে যে পরিমাণ ধনাত্মক আধান থাকে নির্দিষ্ট সংখ্যক ইলেকট্রনেও সমপরিমাণ ঋণাত্মক আধান থাকিবে। ইলেকট্রনগুলি পরমাণুর কেন্দ্রীনকে ঘিরিয়া সর্বদাই গতিশীল থাকে। কোন পরমাণু হইতে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বাহির হইয়া গেলে পরমাণুটি ধনাত্মক আয়নে পরিণত হয়।

যে কোন ধাতু কতকগুলি পরমাণুর আয়ন এবং উপযুক্ত সংখ্যক ইলেকট্রন লইয়া গঠিত হয়। সেই সময় পরমাণুর কেন্দ্রীন হইতে সর্বাপেক্ষা দূরত্বে অবস্থিত কক্ষ হইতে এক বা একাধিক ইলেকট্রন মুক্ত হইয়া যায় এবং ইলেকট্রনগুলি পদার্থের মধ্যেই প্রায় মুক্ত অবস্থায় স্বাধীনভাবে ঘোরাফেরা করে। এই সমস্ত ইলেকট্রনগুলিকে **মুক্ত ইলেকট্রন** (free electrons) বলা হয়। এই ইলেকট্রনগুলি প্রায় মুক্তভাবে চলা-ফেরা করিলেও ইলেকট্রন ও পরমাণুর ধনাত্মক আয়নের মধ্যে ক্রিয়মান স্থির তাড়িতিক আকর্ষণের জন্য তাহারা সাধারণভাবে সংশ্লিষ্ট পদার্থকে ছাড়িয়া যাইতে পারে না। তথাকথিত মুক্ত ইলেকট্রনগুলি নির্দিষ্ট কোন আয়নের সহিত যুক্ত থাকে না কিন্তু তাহারা পদার্থটির মধ্যে আয়নগুলির মধ্যে সমবেতভাবে যুক্ত থাকে। যে সমস্ত পদার্থের একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা খুব বেশী সেই সমস্ত পদার্থগুলি তড়িতের পরিবাহী (conductor) হইবে। একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা খুব কম হইলে পদার্থটিকে অপরিবাহী (insulator) বলা হয়। অর্ধ-পরিবাহী বস্তুর (semi-conductor) ক্ষেত্রে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যাগত মান মাঝামাঝি হইয়া থাকে।

ধাতব পদার্থের মুক্ত ইলেকট্রনগুলি সতত সঞ্চরণশীল এবং তাহাদের গতিশক্তি থাকে। তাপ প্রয়োগের ফলে অথবা অন্যান্য উপায়ে ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি বৃদ্ধি করা যায় এবং উত্তেজিত ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি যথেষ্ট হইলে উহারা ধাতব পদার্থ হইতে বাহির হইয়া আসিবে। আমরা জানি মুক্ত ইলেকট্রন এবং পরমাণুর ধনাত্মক আয়নের মধ্যে স্থির তাড়িতিক আকর্ষণী বল ক্রিয়া করে। কোন ইলেকট্রন যখন পদার্থ হইতে বাহিরে আসে সেই সময় তাহাকে আকর্ষণী বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। কিন্তু কোন ইলেকট্রন পদার্থ হইতে বাহিরে আসিলেই পদার্থ হইতে সম্পূর্ণ-

ভাবে বিচ্ছিন্ন হইয়া যায় না। ইহার কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে যে কোন ইলেকট্রন বাহির হইয়া আসিলে ধাতবপদার্থটি ধনাত্মক আধানে আহিত হইয়া উঠে এবং তাহাদের ভিতর আর একটি আকর্ষণী বল ক্রিয়া করিতে থাকে। ইলেকট্রনের গতিশক্তি যথেষ্ট হইলে ইলেকট্রনটি ধাতব পদার্থ হইতে সম্পূর্ণরূপে বিচ্ছিন্ন হইয়া যাইবে। কোন মুক্ত ইলেকট্রনকে কোন পদার্থ হইতে সম্পূর্ণরূপে বিচ্ছিন্ন করিতে হইলে যে পরিমাণ কার্যের প্রয়োজন হয় তাহাকে পদার্থটির **কার্য-অপেক্ষক** (work function) বলে। কার্য-অপেক্ষকের মান বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রে বিভিন্ন হইয়া থাকে। কোন পদার্থের কার্য-অপেক্ষক কম হইলে সেই পদার্থ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণ সহজেই ঘটানো সম্ভব। বিভিন্ন পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া ধাতব পদার্থ হইতে ইলেকট্রনের নিঃসরণ ঘটানো যাইতে পারে।

2.2. **ইলেকট্রন নিঃসরণের বিভিন্ন পদ্ধতি** (Different methods of electron emission) : ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য সাধারণতঃ চারিটি পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়; যথা :—(a) **তাপীয় নিঃসরণ** (thermal emission); (b) **ফটো-তড়িৎ নিঃসরণ** (photo-electric emission); (c) **ক্ষেত্র নিঃসরণ** (field emission) এবং (d) **গৌণ নিঃসরণ** (secondary emission)।

(a) **তাপীয় নিঃসরণ :** ধাতব পদার্থের ইলেকনট্রগুলি সতত সঞ্চরণশীল এবং তাহাদের গতিশক্তি থাকে। তাপ প্রয়োগ করিলে ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি বাড়িয়া যাইবে। উত্তেজিত ইলেকট্রনের গতিশক্তি পদার্থের কার্য-অপেক্ষকের বেশী হইলে ইলেকট্রনটি পদার্থ হইতে সম্পূর্ণরূপে বিচ্ছিন্ন হইয়া যাইবে। এই ধরনের ঘটনাকে ইলেকট্রনের তাপীয় নিঃসরণ বলা হয়। পদার্থের প্রতি একক ক্ষেত্রফল হইতে প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ ইলেকট্রন নিঃসরিত হইবে তাহার মান পদার্থের চরম তাপমাত্রা এবং পদার্থের প্রকৃতির উপর অর্থাৎ কার্য-অপেক্ষকের উপর নির্ভরশীল। ইলেকট্রনের প্রবাহ ঘটিলে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিয়া থাকে। ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা I_s; পদার্থটির চরম তাপমাত্রা ও কার্য-অপেক্ষক যথাক্রমে T ও ϕ এবং k=বোল্ট্জ্ম্যানের ধ্রুবক হইলে রিচার্ডসনের সূত্র অনুসারে

$$I_s = AT^2 e^{-\frac{\phi}{kT}}$$ [যেখানে A=ধ্রুবক এবং $e=2{\cdot}718$]

স্পষ্টতঃই তড়িৎ প্রবাহের মান অর্থাৎ ইলেকট্রন নিঃসরণের পরিমাণ পদার্থের তাপমাত্রার উপর এবং কার্য-অপেক্ষকের উপর নির্ভরশীল। তাপমাত্রা দ্বিগুণ করিলে

ইলেকট্রন নিঃসরণের পরিমাণ 10^7 গুণ পর্যন্ত বাড়িয়া যাইতে পারে। যে সমস্ত পদার্থের কার্য-অপেক্ষকের মান অপেক্ষাকৃতভাবে কম সেই সমস্ত পদার্থ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণের হার বেশী হইবে। যে সমস্ত ধাতুর গলনাঙ্ক বেশী এবং যাহাদের কার্য-অপেক্ষক কম সেই সমস্ত ধাতুগুলিকে তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য কাজে লাগানো হয়। টাংস্টেনের গলনাঙ্ক প্রায় $3300°K$ এবং কার্য-অপেক্ষক মাত্র 4·5 ইলেকট্রন-ভোল্ট বলিয়া অধিকাংশ ক্ষেত্রে টাংস্টেনকে নিঃসরক (emitter) হিসাবে ব্যবহৃত করা হয়। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে টাংস্টেনের উপর থোরিয়ামের প্রলেপ দিলে উহার কার্য-অপেক্ষকের মান মাত্র 2·6 ইলেকট্রন-ভোল্ট হইয়া যায়। এই কারণে অনেক ক্ষেত্রে থোরিয়েটেড টাংস্টেনকে নিঃসরক হিসাবে কাজে লাগানো হয়।

কোন পদার্থ-পৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রনের নিঃসরণকে তরল-পৃষ্ঠ হইতে বাষ্পীভবনের সহিত তুলনা করা যাইতে পারে। ইলেকট্রন নিঃসরণের পরিমাণ পদার্থের তাপমাত্রা ও উহার প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। অনুরূপভাবে তরলের বাষ্পীভবনের হার তরলের তাপমাত্রা এবং সেই সঙ্গে তরলের প্রকৃতির উপরেও নির্ভর করে।

অধিকাংশ ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য তাপীয় নিঃসরণ পদ্ধতিকে কাজে লাগানো হয়।

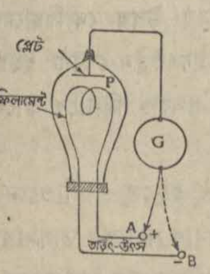
(b) **ফটো-তড়িৎ নিঃসরণ :** কোন ধাতব পৃষ্ঠে উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের কোন আলোক আপতিত হইলে ধাতবপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয়। এই ধরনের ঘটনাকে **ফটো-তড়িৎ নিঃসরণ** বলে। যতক্ষণ পর্যন্ত আলোক থাকিবে ততক্ষণ পর্যন্ত ইলেকট্রনের নিঃসরণ ঘটিবে। কোন পদার্থের ক্ষেত্রে আপতিত আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্দিষ্ট মানের বেশী হইলে আর কোন নিঃসরণ ঘটিবে না। কিন্তু তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্দিষ্ট মানের কম হইলে ইলেকট্রন নিঃসরণের পরিমাণ আপতিত আলোকের তীব্রতার উপর নির্ভর করিবে।

(c) **ক্ষেত্র-নিঃসরণ :** শক্তিশালী তড়িৎ-ক্ষেত্রকে উপযুক্ত অভিমুখে কোন ধাতব-পৃষ্ঠের উপর প্রয়োগ করিলে ধাতব-পৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয়। এই ধরনের ঘটনাকে ইলেকট্রনের **ক্ষেত্র-নিঃসরণ** বলে। এই ধরনের নিঃসরণকে অনেক সময় শীতল ক্যাথোড নিঃসরণ (cold cathode emission) নামে অভিহিত করা হয়।

(d) **গৌণ নিঃসরণ :** বাহির হইতে দ্রুতগতি সম্পন্ন ইলেকট্রন আসিয়া ধাতব পৃষ্ঠে আঘাত করিলে শক্তি হস্তান্তরের জন্য পদার্থের ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি বাড়িয়া যাইতে পারে। ইলেকট্রনগুলির লব্ধ গতিশক্তি যথেষ্ট হইলে ইলেকট্রনগুলি ধাতব

পদার্থ হইতে সম্পূর্ণরূপে বিচ্ছিন্ন হইয়া যাইবে ; অর্থাৎ, ইলেকট্রনের নিঃসরণ ঘটিবে। এই ধরনের ঘটনাকেই **গৌণ নিঃসরণ** বলা হয়।

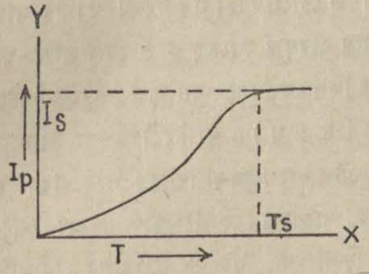
2.3. তাপীয় নিঃসরণের পরীক্ষা (Experiment on thermal emission) : ধাতুকে উত্তপ্ত করিলে ধাতবপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয়। 1882 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী এলষ্টার (Elster) সর্বপ্রথম এই ধরনের ঘটনা লক্ষ্য করেন। 1885 খ্রীষ্টাব্দে এডিসন (Edison) তাপীয় নিঃসরণের পরীক্ষার জন্য বৈদ্যুতিক বাতির ভিতর কার্বনের ফিলামেন্ট এবং প্লেটের আকারে আর একটি তড়িৎ-দ্বার (P) রাখেন (চিত্র 2ক)। প্লেটের সহিত একটি গ্যালভেনোমিটার যুক্ত থাকে। উপযুক্ত তড়িৎ-উৎসের সহিত ফিলামেন্টটিকে যুক্ত করিলে ফিলামেন্টটি ভাস্বর হইয়া উঠে। গ্যালভেনোমিটারের একপ্রান্তকে প্লেটের সহিত যুক্ত রাখিয়া অপর প্রান্তকে ধনাত্মক বিভবযুক্ত বিন্দু A-এর সহিত যুক্ত করিলে দেখা যাইবে যে গ্যালভেনোমিটারের ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিতেছে। কিন্তু G-এর অপর প্রান্তকে ঋণাত্মক বিভবযুক্ত বিন্দু B-এর সহিত যুক্ত করা হইলে কোন তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে না। গ্যালভেনোমিটারটিকে A-বিন্দুর সহিত যুক্ত করিলে প্লেটের বিভব ধনাত্মক হইবে। সেই সময় তড়িৎ-প্রবাহ ঘটে বলিয়া প্রমাণিত হয় যে ফিলামেন্ট হইতে নিঃসরিত তড়িতাধানের প্রকৃতি ঋণাত্মক অর্থাৎ উত্তপ্ত ফিলামেন্ট হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয়। প্লেটটিকে ঋণাত্মক রাখিলে ফিলামেন্ট হইতে নিঃসরিত ঋণাত্মক তড়িৎ-যুক্ত ইলেকট্রনগুলি প্লেট কর্তৃক বিকর্ষিত হইবে। ইহার ফলে প্লেটবর্তনীতে কোন তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে না। তাপীয় নিঃসরণের এই ঘটনাকে **এডিসন ক্রিয়া** (Edison effect) বলে। পরবর্তী কালে এডিসন ক্রিয়াকে **তাপীয় আয়ন নিঃসরণ** (thermionic emission) নামে অভিহিত করা হয়।



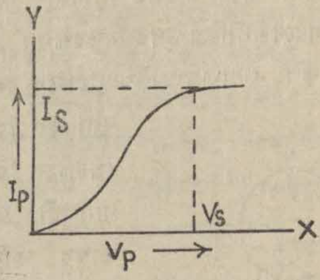
চিত্র—2ক

প্লেট ও ফিলামেন্টের ভিতর বিভব-প্রভেদ নির্দিষ্ট রাখিয়া, ফিলামেন্টের তাপমাত্রা বাড়াইতে থাকিলে প্লেট বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ অর্থাৎ প্লেট-প্রবাহ বাড়িতে থাকিবে (চিত্র 2খ)। যখন তাপমাত্রা কম থাকে তখন ইলেকট্রনের নিঃসরনের হারও কম থাকে এবং ধনাত্মক প্লেটটি নিঃসরিত সমস্ত ইলেকট্রনগুলিকে টানিয়া লইতে সমর্থ হয়। তাপমাত্রা বাড়িতে থাকিলে ইলেকট্রন বেশী পরিমাণে নিঃসরিত হইবে এবং প্লেট-প্রবাহও বাড়িতে থাকিবে। কিন্তু প্লেটের স্থির বিভব-পার্থক্যের জন্য ইলেকট্রন আকর্ষণের হার নির্দিষ্ট হইবে এবং যে তাপমাত্রায় ঐ হারে ইলেকট্রন নিঃসরিত হইবে

সেই সময় প্লেট-প্রবাহ সর্বোচ্চ হইবে। ফিলামেণ্টের তাপমাত্রা আরও বাড়াইলে ইলেকট্রন নিঃসরণের হার বাড়িবে কিন্তু প্লেটটি নির্দিষ্ট হারের বেশী ইলেকট্রন আকর্ষিত করিতে পারিবে না বলিয়া প্লেট-প্রবাহ আর বাড়িবে না। উপরন্তু, প্লেট ও ফিলামেণ্টের অন্তর্বর্তী স্থানে নিঃসরিত ইলেকট্রনের কিছু অংশের সমাবেশ ঘটিবে।



চিত্র—2 খ



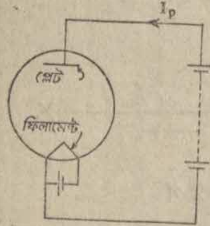
চিত্র—2 গ

এই ধরনের সমাবেশকে স্পেস্-চার্জ (space charge) নামে অভিহিত করা হয়। স্পেস্-চার্জের প্রকৃতি ঋণাত্মক বলিয়া ফিলামেণ্ট হইতে ইলেকট্রনের নিঃসরণ ব্যাহত হইবে ; এমন কি বিকর্ষণের জন্য কিছু পরিমাণ নিঃসরিত ইলেকট্রন পুনরায় ফিলামেণ্টে ফিরিয়া যাইবে, এই সমস্ত কারণে প্লেট-প্রবাহ আর বাড়িতে পারে না। প্লেট বর্তনীতে প্রবাহিত সর্বোচ্চ তড়িৎ-প্রবাহকে সংপৃক্ত প্রবাহ (saturated current) বলা হয়। চিত্রে I_s সংপৃক্ত তড়িৎপ্রবাহ সূচিত করিতেছে।

ফিলামেণ্টের তাপমাত্রা নির্দিষ্ট রাখিয়া প্লেটের বিভব-পার্থক্য বাড়াইতে থাকিলে প্লেট-প্রবাহ বাড়িতে থাকিবে এবং বিভব-পার্থক্যের নির্দিষ্ট মানে প্লেট-প্রবাহ সর্বোচ্চ হইবে (চিত্র 2 গ)। এই প্রবাহকে সংপৃক্ত প্রবাহ (I_s) বলা হয়। ইহার কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে যে ফিলামেণ্টের তাপমাত্রা নির্দিষ্ট বলিয়া ইলেকট্রন নিঃসরণের হার নির্দিষ্ট হইবে। কিন্তু বিভব-পার্থক্য কম থাকিলে প্লেট নিঃসরিত সমস্ত ইলেকট্রনগুলিকে আকর্ষণ করিতে পারিবে না। ইহার ফলে প্লেট ও ফিলামেণ্টের মধ্যবর্তী স্থানে নিঃসরিত ইলেকট্রনের কিছু অংশ স্পেস্-চার্জ হিসাবে জমা হইবে। বিভব-পার্থক্য বাড়াইলে আরও বেশী পরিমাণে ইলেকট্রন আকর্ষিত হইবে এবং প্রবাহ-মাত্রা বাড়িয়া যাইবে। অবশেষে নির্দিষ্ট বিভব-পার্থক্যে যে হারে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয় সেই হারে প্লেটটি ইলেকট্রনগুলিকে আকর্ষণ করিবে। সেই সময় সংপৃক্ত প্লেট-প্রবাহ (I_s) পাওয়া যাইবে। ফিলামেণ্টের নির্দিষ্ট তাপমাত্রার জন্য ইলেকট্রন নিঃসরণের হার নির্দিষ্ট বলিয়া বিভব-পার্থক্য বাড়াইলেও প্লেট-প্রবাহ

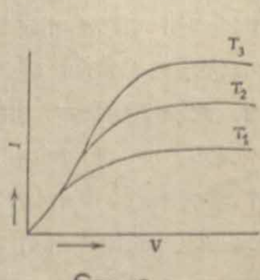
আর বাড়িবে না। তাপীয় আয়ন নিঃসরণকে বিভিন্ন ধরনের তাপীয় আয়ন ভাল্‌ভ (thermionic valves) তৈয়ারীর কাজে ব্যবহার করা হয়।

2.4. দ্বি-তড়িৎদ্বার ভাল্‌ভ বা ডায়োড (Diode): 1904 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ফ্লেমিং ডায়োড আবিষ্কার করেন। ডায়োডের কার্য্যকারিতা তাপীয় আয়ন নিঃসরণের নীতির উপর নির্ভরশীল। এই যন্ত্রে বায়ুশূন্য কাচের কুণ্ডে দুইটি তড়িৎ-দ্বার থাকে। ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারটিকে বলা হয় ফিলামেণ্ট এবং ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারটিকে বলা হয় প্লেট (চিত্র 2 ঘ)। ব্যাটারী B-এর সাহায্যে প্লেটটিকে ফিলামেণ্টের সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভবে রাখা হয়। ব্যাটারী B_1-এর সাহায্যে ফিলামেণ্টকে উত্তপ্ত করিয়া ভাস্বর করিলে ফিলামেণ্ট হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হইবে এবং ইলেকট্রনগুলি প্লেট কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি করিবে। বর্তনীতে ইলেকট্রন প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার অভিমুখে হইলে প্রচলিত নিয়ম অনুসারে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে হইবে। ফিলামেণ্ট সাপেক্ষে প্লেটটিকে ঋণাত্মক বিভবে রাখিলে নিঃসরিত ইলেকট্রনগুলি প্লেট কর্তৃক আকর্ষিত না হইয়া বিকর্ষিত হইবে। সুতরাং প্লেটের ভিতর দিয়া কোন তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে না। অর্থাৎ ফিলামেণ্ট সাপেক্ষে প্লেটটি ধনাত্মক থাকিলে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে কিন্তু ঋণাত্মক থাকিলে কোন তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে না। ডায়োডের এই ধর্মের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তরিত করা সম্ভব।



চিত্র—2ঘ

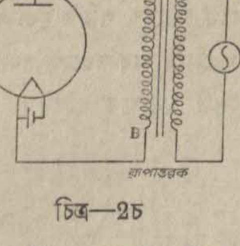
ক্যাথোডের তাপমাত্রা নির্দিষ্ট রাখিয়া ক্যাথোড সাপেক্ষে প্লেটের ধনাত্মক বিভব (V) বাড়াইতে থাকিলে তড়িৎ-প্রবাহ (I) আস্তে আস্তে বাড়িয়া সংপৃক্ত মানে পৌঁছাইবে (চিত্র 2ঙ)। সংপৃক্ত প্রবাহের সময় ক্যাথোড হইতে নিঃসরিত সকল ইলেকট্রনকে প্লেটটি আকর্ষণ করিতে পারিবে। তাহার পরে বিভেব-প্রভেদ আরও বাড়াইলে তড়িৎ-প্রবাহ আর বাড়িবে না। কিন্তু ফিলামেণ্টের তাপমাত্রা বিভিন্ন হইলে সংপৃক্ত প্রবাহের মান স্পষ্টতঃই বিভিন্ন হইবে। যদি $T_3 > T_2 > T_1$ হয় তাহা হইলে সংপৃক্ত প্রবাহের মান প্রথম ক্ষেত্রে সর্বোচ্চ এবং তৃতীয় ক্ষেত্রে সর্বনিম্ন হইবে।



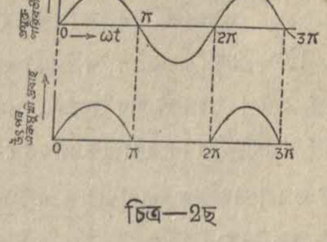
চিত্র—2 ঙ

2.5. ডায়োডের ব্যবহার—একমুখীকরণ (Uses of diode—Rectification) : ডায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তরিত করা যায়। ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্লেটের বিভব ধনাত্মক হইলে ক্যাথোড হইতে নিঃসরিত ইলেকট্রনগুলি প্লেট কর্তৃক আকর্ষিত হইবে এবং বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ সংঘটিত হইবে। কিন্তু ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্লেটের বিভব ঋণাত্মক হইলে ক্যাথোড হইতে নিঃসরিত ইলেকট্রনগুলিকে ঋণাত্মক প্লেট বিকর্ষিত করিবে এবং বর্তনীতে কোন তড়িৎ-প্রবাহ থাকিবে না। সুতরাং ডায়োড কেবলমাত্র একটি দিকেই তড়িৎ-প্রবাহ ঘটাইতে পারে এবং ডায়োডের এই ধর্মকে **একমুখীকরণ** বলা হয়। একমুখীকরণ দুই প্রকারের হইতে পারে, যথা :—(*a*) অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ (half-wave rectification) এবং (*b*) পূর্ণ-তরঙ্গ একমুখীকরণ (full-wave rectification)।

(*a*) **অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ :** 2 চ নং চিত্রে ডায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহকে কিভাবে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ করা সম্ভব তাহা দেখানো হইয়াছে। উপযুক্ত ধরনের রূপান্তরক (transformer)-এর সাহায্যে পরিবর্তী উৎসের বিভব-প্রভেদকে প্রয়োজনমত কমানো অথবা বাড়ানো হয় এবং গৌণ কুণ্ডলীর A বিন্দুকে



চিত্র—2চ

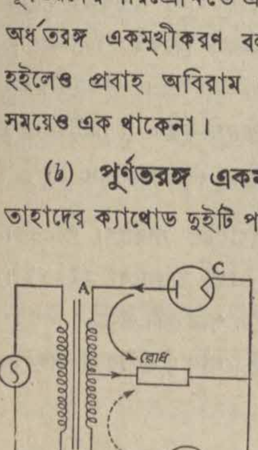


চিত্র—2ছ

রোধের মধ্যদিয়া প্লেটের সহিত ও B বিন্দুকে ক্যাথোডের সহিত যুক্ত করা হয়। উৎসটি পরিবর্তী ধরনের বলিয়া A বিন্দুটি পর্যায়ক্রমে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক হইবে। মনে কর, পরিবর্তী প্রবাহের প্রথম অর্ধচক্রের সময় A বিন্দুটি ধনাত্মক। সেইসময় ক্যাথোড সাপেক্ষে প্লেটটি ধনাত্মক থাকিবে এবং রোধের ভিতর দিয়া তীর চিহ্নিত অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিতে থাকিবে। কিন্তু পরবর্তী অর্ধচক্রের সময় A বিন্দুটি ঋণাত্মক এবং B বিন্দুটি ধনাত্মক হইবে। এই সময়ে প্লেটটি ক্যাথোডের সাপেক্ষে ঋণাত্মক থাকায় প্লেটের ভিতর দিয়া অর্থাৎ রোধের ভিতর দিয়া কোন তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে না। পরবর্তী অর্ধচক্রে A বিন্দুটি পুনরায় ধনাত্মক হইবে এবং পূর্বে বর্ণিত

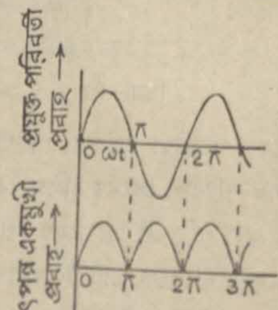
ঘটনার পুনরাবৃত্তি ঘটিতে থাকিবে। সুতরাং প্রথম অর্ধচক্রে রোধের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিলে পরবর্তী তৃতীয়, পঞ্চম, সপ্তম,……ইত্যাদি অর্ধচক্রে পুনরায় তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে। কিন্তু সকল ক্ষেত্রেই তীরচিহ্নিত অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহিত হইবে। 2 ছ নং চিত্রে প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহ এবং উৎপন্ন একমুখী প্রবাহের সময়ের সহিত লেখচিত্র দেওয়া হইল। স্পষ্টতঃই প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহের যে কোন পূর্ণতরঙ্গের পরিপ্রেক্ষিতে একমুখী অর্ধতরঙ্গ পাওয়া যায়। এইজন্যই এই ঘটনাকে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ বলা হয়। মনে রাখিতে হইবে যে উৎপন্ন প্রবাহ একমুখী হইলেও প্রবাহ অবিরাম নহে। তাছাড়া উৎপন্ন একমুখী প্রবাহের বিস্তার সব সময়েও এক থাকেনা।

(b) **পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ :** 2 জ নং চিত্রে C ও D দুইটি ডায়োড এবং তাহাদের ক্যাথোড দুইটি পরস্পর যুক্ত থাকে। উপযুক্ত ধরনের রূপান্তরকের সাহায্যে পরিবর্তী উৎসের বিভবপ্রভেদকে প্রয়োজনমত কমানো অথবা বাড়ানো হয় এবং গৌণকুণ্ডলীর A ও B বিন্দুকে যথাক্রমে প্রথম ও দ্বিতীয় ডায়োডের প্লেটের সহিত যুক্ত করা হয়। তাছাড়া রোধের একপ্রান্তকে গৌণকুণ্ডলীর মধ্যবিন্দুর সহিত এবং অপরপ্রান্তকে ক্যাথোডদ্বয়ের সংযোগী তারের সহিত যুক্ত করা হয়।



চিত্র—2জ

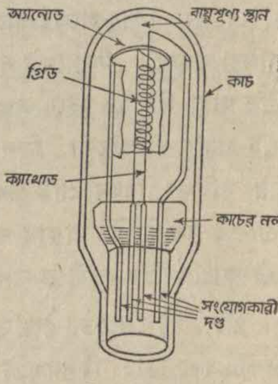
পরিবর্তী প্রবাহের যে কোন অর্ধতরঙ্গের সময় A বিন্দুটি ধনাত্মক হইলে পরবর্তী অর্ধতরঙ্গের সময় B বিন্দুটি ধনাত্মক হইবে। ক্যাথোড সাপেক্ষে A বিন্দুটি যখন ধনাত্মক থাকে সেই সময় C ডায়োডের জন্য তীরচিহ্নিত অভিমুখে রোধের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে। পরবর্তী অর্ধতরঙ্গের সময় B বিন্দুটি ধনাত্মক হইবে এবং D ডায়োডের জন্য বিচ্ছিন্ন (dotted) তীরচিহ্নের অভিমুখে রোধের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে। যে কোন ডায়োডের জন্যই তড়িৎ-প্রবাহ ঘটুক না কেন, রোধের ভিতর দিয়া সবসময়েই একই অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ সঞ্চালিত হইবে। এই ব্যবস্থায় প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহের জন্য উৎপন্ন একমুখী প্রবাহ কি



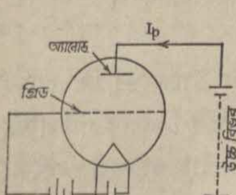
চিত্র—2ঝ

ধরনের হইবে তাহা 2ঝ নং চিত্রে দেখানো হইল। এইক্ষেত্রে রোধের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ অবিরাম হইলেও প্রবাহিত একমুখী তরঙ্গের বিস্তার সব সময় এক থাকে না।

2.6. ত্রিতড়িৎদ্বার ভালভ্ বা ট্রায়োড (Triode): ডায়োডে দুইটি তড়িৎদ্বার, যথা ক্যাথোড এবং প্লেট থাকে। 1907 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী দ্য ফরেষ্ট ডায়োডের ভিতরে আর একটি অতিরিক্ত তড়িৎ-দ্বার ঢুকাইয়া ট্রায়োড তৈয়ারী করেন। তৃতীয় তড়িৎদ্বারটি ধাতব তারজালির আকারে অথবা ঘন সন্নিবিষ্ট কুণ্ডলীর আকারে থাকে বলিয়া তড়িৎদ্বারটিকে **গ্রিড** বলা হয় এবং ইহা ক্যাথোড ও প্লেটের মাঝখানে ক্যাথোডের অধিকতর নিকটে অবস্থিত থাকে। গ্রিডটি সাধারণতঃ সম অক্ষীয় ভাবে ক্যাথোডকে ঘিরিয়া রাখে। এই ভালভে তিনটি তড়িৎ-দ্বার থাকে বলিয়া উহাকে **ট্রায়োড** বলা হয়। 2ঞ নং চিত্রে ট্রায়োডের সাধারণ আকৃতি এবং গঠনশৈলী দেখানো হইয়াছে।



চিত্র—2ঞ



চিত্র—2ট

2ট নং চিত্রে একটি ট্রায়োডের নক্সা দেখানো হইয়াছে এবং বর্তনীতে বিভিন্ন তড়িৎ দ্বারগুলি কিভাবে যুক্ত থাকে তাহা দেখানো হইয়াছে। ফিলামেন্টটিকে অল্প ভোল্টেজের ব্যাটারী দিয়া উত্তপ্ত করা হয় এবং প্লেটকে ফিলামেন্ট সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভবে রাখা হয়। ফিলামেন্ট সাপেক্ষে গ্রিডের বিভব প্রয়োজন অনুসারে ধনাত্মক অথবা ঋণাত্মক রাখা হয়।

গ্রিডের কাজ (Action of the grid): ট্রায়োডে ক্যাথোড এবং প্লেটের মাঝখানে ধাতব তারজালির আকারে অথবা ঘনসন্নিবিষ্ট কুণ্ডলীর আকারে গ্রিড অবস্থিত থাকে। গ্রিডের বিভব শূন্য হইলে সাধারণ অবস্থায় ক্যাথোড হইতে নির্গত ইলেকট্রন প্রায় বিনা বাধায় গ্রিডের অসংখ্য ফাঁকের ভিতর দিয়া প্লেটে পৌঁছাইতে পারে। বিভব-পার্থক্য কম থাকিলে নির্গত সমস্ত ইলেকট্রনকে প্লেটে আকর্ষণ করিতে পারে না। ইহার ফলে প্লেট ও ফিলামেন্টের মধ্যবর্তী স্থানে নিঃসরিত

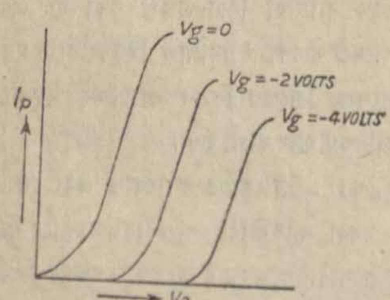
ইলেকট্রনের কিছু অংশ স্পেস্-চার্জ হিসাবে জমা হয়। স্পেস্-চার্জের প্রকৃতি ঋণাত্মক বলিয়া ফিলামেণ্ট হইতে ইলেকট্রনের নিঃসরণ ব্যাহত হইবে ; এমন কি বিকর্ষণের জন্য কিছু পরিমাণ নিঃসরিত ইলেকট্রন পুনরায় ফিলামেণ্টে ফিরিয়া যাইবে। প্লেটের ধনাত্মক বিভব বাড়াইতে থাকিলে প্লেট-প্রবাহ অল্প অল্প করিয়া বাড়িতে থাকিবে এবং অবশেষে সংপৃক্ত মান লাভ করিবে। কিন্তু প্লেটের ধনাত্মক বিভব না বাড়াইয়া ফিলামেণ্ট সাপেক্ষে গ্রিডকে ধনাত্মক করিলে গ্রিড নির্গত ইলেকট্রনগুলিকে আকর্ষণ করিবে এবং স্পেস্-চার্জের পরিমাণকে কমাইয়া দিবে। ইহার ফলে প্লেটের প্রবাহ বাড়িয়া যাইবে। ফিলামেণ্ট সাপেক্ষে গ্রিডের বিভব ঋণাত্মক হইলে নির্গত ইলেকট্রন গ্রিড দ্বারা বিকর্ষিত হইবে এবং স্পেস্-চার্জের মাত্রা বাড়িয়া যাইবে। ইহার ফলে প্লেট-প্রবাহ কম হইবে। ফিলামেণ্টের অধিকতর নিকটে গ্রিড থাকে বলিয়া গ্রিডের অল্প পরিমাণ বিভব প্লেট-প্রবাহকে যথেষ্ট পরিমাণে পরিবর্তিত করিতে সমর্থ হয়। গ্রিডের অসংখ্য ছিদ্র থাকার জন্য উহাতে বেশী সংখ্যায় ইলেকট্রন জমিতে পারে না। এই কারণে গ্রিড বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা খুব কম হইয়া থাকে।

2.7. ট্রায়োডের স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য লেখ (Static characteristic curves of the triode) : ফিলামেণ্টের তাপমাত্রা নির্দিষ্ট আছে বলিয়া ধরা হইল। সেক্ষেত্রে ট্রায়োডের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পরিবর্তিত করিতে হইলে

(i) প্লেটে প্রযুক্ত ধনাত্মক বিভবকে পরিবর্তিত করিতে হইবে, অথবা

(ii) গ্রিডে প্রযুক্ত বিভবকে পরিবর্তিত করিতে হইবে।

(i) **অ্যানোড বৈশিষ্ট্য** (Anode characteristics) : ট্রায়োডের নিঃসরকের তাপমাত্রা এবং গ্রিডের বিভব নির্দিষ্ট রাখিয়া প্লেটের ধনাত্মক বিভবকে পরিবর্তিত করিলে প্লেট-প্রবাহ পরিবর্তিত হইবে। প্লেট-বিভব ও প্লেট-প্রবাহের লেখকে **অ্যানোড বৈশিষ্ট্য বা প্লেট বৈশিষ্ট্য** বলা হয়। 2ঠ নং চিত্রে বিভিন্ন মানের নির্দিষ্ট গ্রিড বিভবের জন্য অ্যানোড বৈশিষ্ট্য দেখানো হইয়াছে। এইক্ষেত্রে অ্যানোড এবং ক্যাথোডের মধ্যে বিভব পার্থক্যকে V_a দ্বারা ; প্লেট-প্রবাহকে I_p দ্বারা এবং গ্রিড বিভবকে V_g দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। প্লেটের ধনাত্মক বিভব-পার্থক্য বাড়াইতে থাকিলে

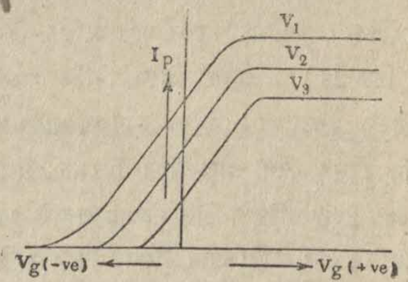


চিত্র—2ঠ

ক্যাথোড হইতে নির্গত ইলেকট্রন বেশী পরিমাণে প্লেট কর্তৃক আকর্ষিত হইবে। ইহার ফলে প্লেট-প্রবাহ বাড়িয়া যাইবে। বিভব-পার্থক্য বাড়াইতে থাকিলে প্লেট-প্রবাহও বাড়িতে বাড়িতে সংপৃক্ত মানে পৌঁছাইবে। তাহার পর বিভব-পার্থক্য বাড়াইলেও তড়িৎ-প্রবাহ আর বাড়িবে না। গ্রিড বিভব যত বেশী ঋণাত্মক হইবে নির্দিষ্ট প্লেট-বিভবের জন্য তড়িৎ-প্রবাহ তত কম হইবে।

লেখগুলির উপরের ও নীচের অংশ বক্র এবং মধ্যের অংশ প্রায় সরলরৈখিক। তাছাড়া বিভিন্ন লেখচিত্রে সরলরৈখিক অংশগুলি মোটামুটিভাবে পরস্পর সমান্তরাল।

(ii) **পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য** (Mutual characteristics): প্লেট বিভবকে নির্দিষ্ট রাখিয়া গ্রিড বিভব ও প্লেট প্রবাহের মধ্যে লেখচিত্র অঙ্কিত করিলে যে লেখ পাওয়া যায় তাহাকে **পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য** বলা হয় (চিত্র 2 ঙ)। চিত্রে গ্রিড বিভবকে V_g দ্বারা, প্লেট-প্রবাহকে I_p দ্বারা এবং প্লেট-বিভবকে V_1, V_2, V_3 দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। লেখ হইতে দেখা যায় যে গ্রিড-বিভবের মান নির্দিষ্ট পরিমাণের বেশী হইলে প্লেট-প্রবাহ সংপৃক্ত মানে পৌঁছাইবে। অপরপক্ষে গ্রিড বিভব নির্দিষ্ট পরিমাণের কম হইলে আর কোন প্লেট-প্রবাহ থাকিবে না। গ্রিডের সর্বোচ্চ যে বিভব প্রযুক্ত করিলে আর কোন প্লেট-প্রবাহ থাকিবে না, গ্রিডের সেই বিভবকে **ছেদ-বিভব** (cut-off bias) বলা হয়। পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য গ্রিড-বিভব অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করে সেই বিন্দুটি ছেদ-বিভব সূচিত করে। প্লেট-বিভবের মান বাড়াইলে ছেদ বিভবের মান স্পষ্টতঃই বাড়িয়া যাইবে।

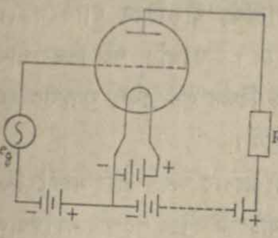


চিত্র—2ঙ

লেখগুলির মধ্যেকার অংশ প্রায় সরলরৈখিক হইলেও উহাদের উপরের ও নীচের অংশ বক্র। তাছাড়া সরলরৈখিক অংশগুলি পরস্পর সমান্তরাল।

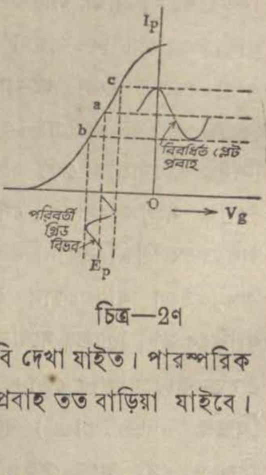
2.8. **বিবর্ধকরূপে ট্রায়োডের ব্যবহার** (Use of a triode as an amplifier): ট্রায়োডে ফিলামেন্টের অধিকতর নিকটে গ্রিড থাকে বলিয়া গ্রিডে প্রযুক্ত অল্প পরিমাণ বিভব প্লেট-প্রবাহকে যথেষ্ট পরিমাণে পরিবর্তিত করিতে সমর্থ হয়। ট্রায়োডকে এইভাবে ব্যবহার করিলে ট্রায়োড বিবর্ধক হিসাবে কাজ করিবে। ট্রায়োডকে বিবর্ধক হিসাবে ব্যবহৃত করিতে হইলে কিভাবে বর্তনী সংযোগ

করিতে হইবে তাহা 2চ নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। প্লেট বর্তনীতে একটি রোধ (R_L)রাখা হয় এবং রোধের প্রান্তদ্বয় হইতে বিবর্ধিত বিভব-প্রভেদ পাওয়া যায়। অল্প বিস্তারের পরিবর্তী প্রবাহের উৎস e_g-কে গ্রিড বর্তনীতে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হয়। ট্রায়োডের নীতি অনুযায়ী গ্রিড বর্তনীতে পরিবর্তী প্রবাহের জন্য প্লেট বর্তনীতে বিবর্ধিত পরিবর্তী প্রবাহের সৃষ্টি হইবে।



চিত্র—2চ

বিবর্ধনের সময় মনে রাখিতে হইবে যে বিবর্ধিত তরঙ্গের আকৃতি যেন প্রযুক্ত তরঙ্গের আকৃতির অনুরূপ হয়। ইহার জন্য প্রযুক্ত গ্রিড বিভবের মানকে এমন করিতে হইবে যাহাতে কার্যকর বিন্দুটি পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য লেখর ঋজু অংশের মাঝামাঝি a বিন্দুতে থাকে (চিত্র 2ণ)। এইজন্য গ্রিডে নির্দিষ্ট মানের ঋণাত্মক বিভব দেওয়া হয়। লেখটি কার্যকর অংশে ঋজু বলিয়া বিবর্ধনের ফলে প্রাপ্ত পরিবর্তী প্লেট-প্রবাহের প্রকৃতি এবং প্রযুক্ত পরিবর্তী গ্রিডবিভবের প্রকৃতি একই হইবে। রেডিও এবং টেলিভিশনে ট্রায়োড বিবর্ধক হিসাবে কাজ করে। বিবর্ধনের ফলে বিকৃতি ঘটিলে রেডিওর গান বেসুরা ও কর্কশ হইয়া উঠিত এবং টেলিভিশনে বিকৃত ছবি দেখা যাইত। পারস্পরিক বৈশিষ্ট্যের লেখটির কার্যকর অংশ যত খাড়া হইবে প্লেট-প্রবাহ তত বাড়িয়া যাইবে। অর্থাৎ, সেক্ষেত্রে বিবর্ধন বেশী হইবে।



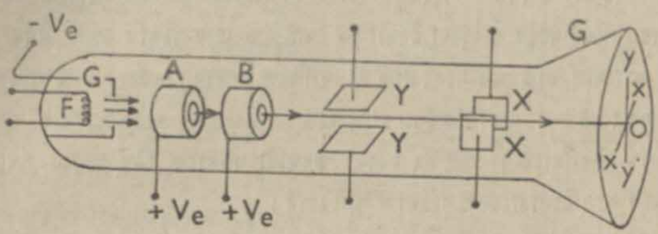
চিত্র—2ণ

2.9. ক্যাথোড রশ্মি অস্‌সিলোগ্রাফ (Cathode ray oscillograph) : **কার্যনীতি** (Principle) : দ্রুতগামী ইলেকট্রন প্রবাহকে ক্যাথোড রশ্মি বলা হয় এবং বৈদ্যুতিক ও চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে ক্যাথোড রশ্মি বাঁকিয়া যায়। তাছাড়া প্রতিপ্রভ পর্দায় ক্যাথোড রশ্মি প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে। ক্যাথোড রশ্মির এই ধর্মগুলিকে ক্যাথোড রশ্মি অস্‌সিলোগ্রাফ তৈয়ারীর কাজে লাগানো হয়।

বর্ণনা (Description) : নিম্নলিখিত মূল অংশগুলি লইয়া যন্ত্রটি গঠিত :—

(i) **ইলেকট্রন বন্দুক** (electron gun) ; (ii) **উপযুক্ত বৈদ্যুতিক অথবা চৌম্বক ক্ষেত্রের ব্যবস্থা** এবং (iii) **প্রতিপ্রভ পর্দা**। বিশেষ কাজের জন্য যন্ত্রটিতে সময় সূচিত করিবারও ব্যবস্থা রাখা হয়।

২৩ নং চিত্রে যন্ত্রটির সাধারণ গঠন প্রণালী দেখানো হইয়াছে। তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যে উত্তপ্ত করিলে টাংস্টেন বা প্লাটিনামের তৈয়ারী ফিলামেন্ট F-হইতে তাপীয় নিঃসরণের জন্য ইলেকট্রন নির্গত হইবে। ফিলামেন্টকে ঘিরিয়া একটি ধাতব চোঙ (G) থাকে এবং ইহাকে গ্রিড বলা হয়। ফিলামেন্ট সাপেক্ষে চোঙটির বিভব ঋণাত্মক (−ve) রাখা হয়। ইহার ফলে ফিলামেন্ট হইতে নির্গত ইলেকট্রনগুলি একটি সূক্ষ্ম রশ্মির আকার ধারণ করে। চোঙটির বিভবের মান পরিবর্তিত করিয়া



চিত্র—২৩

ইলেকট্রনের সংখ্যা এবং সেই সঙ্গে উজ্জ্বলতা নিয়ন্ত্রিত করা যায়। A ও B ধনাত্মক বিভব যুক্ত (+ve) তড়িৎ-দ্বার এবং ইহাদিগকে অ্যানোড বলা হয়। অ্যানোড দুইটি দেখিতে বেলনের মত এবং তাহাদের অক্ষ বরাবর সরু ছিদ্র থাকে। তাছাড়া, দ্বিতীয় অ্যানোডটির বিভব প্রথমটির বিভবের তুলনায় কয়েক গুণ বেশী থাকে। F, G, A এবং B, ইহাদের সমন্বয়কে ইলেকট্রন বন্দুক বলিয়া অভিহিত করা হয়। অ্যানোড দুইটির জন্য ইলেকট্রনগুলিতে যথেষ্ট পরিমাণ ত্বরণের সৃষ্টি হয় এবং তাহারা প্রতিপ্রভ পর্দার উপর আপতিত হইয়া O বিন্দুতে প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে।

বৈদ্যুতিক বা চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে ক্যাথোড রশ্মি বাঁকিয়া যায়। সাধারণতঃ বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিয়া বিক্ষেপ ঘটানো হয়। প্রদর্শিত ব্যবস্থায় Y, Y দুইটি সমান্তরাল অনুভূমিক প্লেট এবং X, X প্লেট দুইটিকে উল্লম্বতলে সমান্তরালভাবে রাখা হইয়াছে। Y, Y প্লেটে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে ইলেকট্রন রশ্মি ধনাত্মক প্লেটের দিকে বাঁকিয়া যাইবে এবং প্রতিপ্রভ আলোকবিন্দুটিও O বিন্দু হইতে যথাযথভাবে সরিয়া যাইবে। কিন্তু Y, Y প্লেট দুইটিতে পরিবর্তী বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে প্রয়োগ করিলে প্রতিপ্রভ বিন্দুটি পর্দায় Y অক্ষ বরাবর যাতায়াত করিবে এবং একটি উল্লম্ব রেখা (চিত্রে $y\ y$) উৎপন্ন করিবে। অনুরূপভাবে X, X প্লেটে পরিবর্তী বিভব প্রভেদ প্রয়োগ করিলে প্রতিপ্রভ বিন্দুটি পর্দায় X-অক্ষ বরাবর অনুভূমিক রেখা

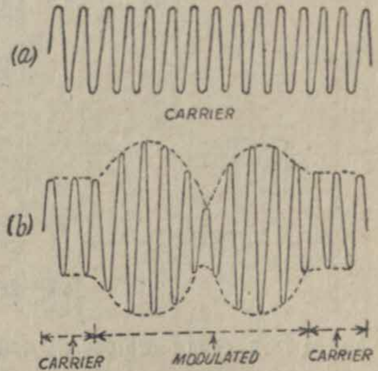
($x\,x$) উৎপন্ন করিবে। কিন্তু একই সঙ্গে $Y\,Y$ এবং $X\,X$ প্লেটে পরিবর্তী বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হইলে ইলেকট্রন রশ্মি লব্ধ গতি পাইবে এবং প্রতিপ্রভ পর্দায় লব্ধ গতির চিত্র পাওয়া যাইবে।

ব্যবহার (Uses): ক্যাথোড রশ্মি অস্‌সিলোগ্রাফ বিজ্ঞানে, প্রযুক্তি বিদ্যায়, চিকিৎসা-শাস্ত্রে এবং গবেষণার কাজে বিভিন্নভাবে এবং অপরিহার্যরূপে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। এই যন্ত্রের সাহায্যে অল্পমানের পরিবর্তী বিভব, বর্তনীর বৈশিষ্ট্য, কম্পাঙ্ক, তরঙ্গের আকৃতি, চৌম্বক পদার্থের হিষ্টারিসিস (hysteresis) ইত্যাদি নিখুঁতভাবে মাপা যায়। এই যন্ত্রের সাহায্যে বৈদ্যুতিক মোটর ও ডায়নামোর ত্রুটি নির্ণয় করা যায়। ক্যাথোড রশ্মি অস্‌সিলোগ্রাফ না থাকিলে রাডার (radar) ও টেলিভিশনের প্রচলন সম্ভব হইত না। চিকিৎসা-শাস্ত্রে electro-cardiograph পাইবার জন্য ঐ যন্ত্র ব্যবহৃত হইয়া থাকে। বিভিন্ন ধরনের ক্ষণস্থায়ী ঘটনাকে নিখুঁতভাবে পর্যবেক্ষণ করার জন্য আস্‌সিলোগ্রাফের ব্যবহার অপরিহার্য।

2.10. বেতার বা রেডিও (Radio): তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের সাহায্যে একস্থান হইতে অন্য স্থানে শব্দ পাঠানোর ব্যবস্থাকে **বেতার** বা **রেডিও** বলা হয়। দুইটি স্থানের ভিতর টেলিগ্রাফ বা টেলিফোনের সাহায্যে সংবাদ আদান-প্রদান করিতে হইলে স্থান দুইটির মধ্যে তারের সংযোগ থাকা দরকার। কিন্তু উপরে বর্ণিত ব্যবস্থায় কোন তারের দরকার হয় না বলিয়া ঐ ব্যবস্থাকে বেতার বলা হয়। 1895 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী মার্কনী রেডিও আবিষ্কার করেন। উত্তরোত্তর গবেষণার জন্য বর্তমানে বেতার-যন্ত্রের উৎকর্ষতা বহুল পরিমাণে বৃদ্ধি পাইয়াছে।

বেতার কেন্দ্রে যখন কোন ব্যক্তি মাইক্রোফোনের সম্মুখে কথা বলেন বা গান করেন তখন মাইক্রোফোনের পর্দার কম্পনের জন্য বর্তনীতে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। মূল শব্দের কম্পাঙ্ক ও বিস্তার অনুযায়ী উদ্ভূত পরিবর্তী প্রবাহের কম্পাঙ্ক ও বিস্তার পরিবর্তিত হয়। সুতরাং বলা যাইতে পারে যে মাইক্রোফোনের জন্য শব্দ শক্তি তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হইল। মূল শব্দের জন্য উৎপন্ন পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের কম্পাঙ্কগুলিকে **শ্রাব্য-কম্পাঙ্ক** (audio-frequencies) বলা হয় এবং কম্পাঙ্ক ও বিস্তার কম বলিয়া শ্রাব্য-কম্পাঙ্কের তড়িৎ-তরঙ্গকে এককভাবে ঈথার মাধ্যমের ভিতর দিয়া দূরে পাঠানো যায় না। এই অসুবিধা দূর করার জন্য প্রথমে শ্রাব্য কম্পাঙ্কের তড়িৎ-তরঙ্গকে বিবর্ধক (amplifier)-এর সাহায্যে বিবর্ধিত করা হয় এবং তারপর ঐ তড়িৎ-তরঙ্গকে স্পন্দকে (oscillator) উৎপন্ন অবিচ্ছিন্ন তড়িৎ-তরঙ্গের সহিত মিশাইয়া প্রেরক স্টেশনের অ্যানটেনা হইতে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের

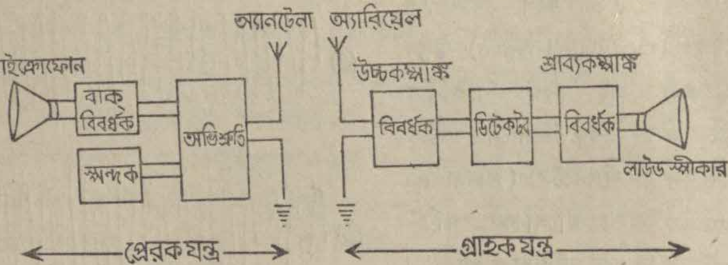
আকারে ঈথার মাধ্যমে ছড়াইয়া দেওয়া হয়। স্পন্দক হইতে উৎপন্ন তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গকে বাহক তরঙ্গ (carrier wave) বলা হয়। শ্রাব্য-কম্পাঙ্কের তড়িৎ-তরঙ্গের কম্পাঙ্ক সাধারণতঃ 30 হইতে 20,000-এর মধ্যে থাকে। শ্রাব্য-কম্পাঙ্কের তরঙ্গ ও বাহক তরঙ্গের মেশানোকে **অভিশ্রুতি** বা **মডিউলেশন** (modulation) বলে এবং যে যন্ত্রের সাহায্যে উহা সংঘটিত হয় তাহাকে **মডিউলেটর** (modulator) বলা হয়। অভিশ্রুতির ফলে অভিশ্রুত তরঙ্গের (modulated wave) উদ্ভব ঘটে এবং এই তরঙ্গ বিকিরিত তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ হিসাবে সুউচ্চ অ্যারিয়েল বা অ্যানটেনা (aerial or antenna) হইতে আলোকের গতি-বেগেঈথার মাধ্যমে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে এবং গ্রাহক স্টেশনে অ্যারিয়েলে ধরা পড়ে। 2 থ (a) নং চিত্রটি বাহক তরঙ্গ (carrier wave) এবং 2 থ (b) চিত্রটি বাহক ও অভিশ্রুত (modulator) তরঙ্গ সূচিত করিতেছে। মনে রাখা দরকার যে বেতার কেন্দ্র হইতে প্রচারিত গান, সংবাদ ইত্যাদি অভিশ্রুত তরঙ্গের ভিতর প্রচ্ছন্নভাবে বর্তমান থাকে। আমাদের বাড়িতে যে রেডিও থাকে তাহা আসলে একটি গ্রাহক যন্ত্র (receiver)। এই গ্রাহক যন্ত্রের সাহায্যে উপযুক্ত ব্যবস্থা অবলম্বন করিয়া অভিশ্রুত তরঙ্গ হইতে প্রচারিত গান, সংবাদ ইত্যাদিকে বিচ্ছিন্ন করা হয় এবং শ্রাব্য-কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট তরঙ্গকে পুনরায় ফিরিয়া পাই।



চিত্র—2 থ

গ্রাহক স্টেশনটি প্রেরক স্টেশনের খুব নিকটে হইলে অ্যানটেনা হইতে বিকিরিত অভিশ্রুত তরঙ্গ সরাসরি গ্রাহক স্টেশনের অ্যারিয়েলে আসিয়া পৌঁছায়। কিন্তু গ্রাহক স্টেশনটি দূরে থাকিলে অভিশ্রুত তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ **আয়ন মণ্ডলে** প্রতিফলিত হইয়া গ্রাহক স্টেশনে পৌঁছাইবে। গ্রাহক স্টেশনের অ্যারিয়েলে যে অভিশ্রুত তরঙ্গ ধরা পড়ে তাহার বিস্তার খুব কম বলিয়া উচ্চ কম্পাঙ্ক বিবর্ধকের (high frequency amplifier) সাহায্যে ঐ তরঙ্গকে প্রথমে বিবর্ধিত করা হয়। তারপর অভিশ্রুত তরঙ্গ হইতে বাহক তরঙ্গকে আলাদা করার জন্য বিবর্ধিত তরঙ্গকে ডিটেকটর বা ডিমডিউলেটর (detector বা demodulator) হিসাবে ব্যবহৃত কোন

ডায়োড বা ট্রায়োড বর্তনীর ভিতর পাঠানো হয়। ডিটেকটর হইতে যে পরিবর্তনশীল তরঙ্গ বাহির হইয়া আসে তাহা মুল শব্দের অনুযায়ী হইলেও তাহার বিস্তার খুব কম হইবে। এই কারণেই পরিবর্তনশীল ঐ তরঙ্গকে শ্রাব্য-কম্পাঙ্ক বিবর্ধক (audio-frequency amplifier)-এর সাহায্যে বিবর্ধিত করিয়া লাউড-স্পীকারে পাঠানো হয় এবং আমরা বেতারকেন্দ্র হইতে প্রচারিত গান, সংবাদ ইত্যাদি শুনিতে পাই।



চিত্র—2দ

2দ নং চিত্রে বেতার প্রচারের জন্য প্রেরক ও গ্রাহক স্টেশনে যে সমস্ত যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাহাদের ব্লক চিত্র দেখানো হইয়াছে।

বেতার প্রচারের জন্য যে সমস্ত তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ বাহক-তরঙ্গ হিসাবে ব্যবহৃত হয় তাহাদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সাধারণতঃ 100 মিটার হইতে 100 কিলোমিটার পর্যন্ত হইয়া থাকে।

2.11. **দূরদর্শন বা টেলিভিশন্** (Television): টেলিভিশনের সাহায্যে আমরা দূরের ছবি এবং দৃশ্য দেখিতে পারি। টেলিভিশনের প্রেরক কেন্দ্র হইতে কোন ছবি বা দৃশ্য ইলেকট্রনীয় পদ্ধতিতে পাঠানো হয় এবং গ্রাহক কেন্দ্রে সেই ছবি বা দৃশ্যকে পুনরুদ্ধার করা হয়। রেডিওতে শব্দশক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া পাঠানো হয় এবং গ্রাহককেন্দ্রে ঐ শব্দের পুনরুৎপাদন করা হয়। কিন্তু টেলিভিশনে আলোকশক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া গ্রাহককেন্দ্রে ঐ আলোক শক্তির পুনরুৎপাদন করা হইয়া থাকে। টেলিভিশনের কার্যপ্রণালীকে মোটামুটি তিনটি পর্যায়ে ভাগ করা যায় :—

(i) **বিশ্লেষণ** (Scanning): যে ছবি বা দৃশ্যকে টেলিভিশনের সাহায্যে দূরে পাঠাইতে হইবে তাহার বিভিন্ন অংশের উপর দিয়া একটি সূক্ষ্ম কিন্তু জোরালো ইলেকট্রন রশ্মিকে নির্দিষ্ট ভাবে দ্রুতগতিতে চালনা করা হয়। ইহাকে বিশ্লেষণ বা scanning বলা হয়। বিশ্লেষণী কাজের জন্য সাধারণতঃ বিশেষ ধরনের যে ক্যামেরা

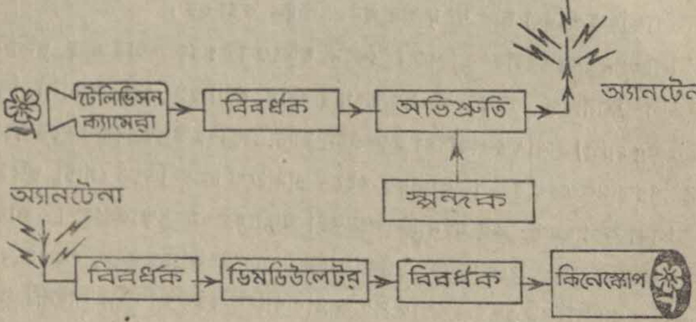
ব্যবহার করা হয় তাহাকে আইকনোস্কোপ (iconoscope) বলে। উৎকর্ষতার পরিপ্রেক্ষিতে বর্তমানে অর্থো-আইকনোস্কোপ বা অথিকন (ortho-iconoscope বা orthicon) ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(ii) বিশ্লেষণের ফলে ছবির বা দৃশ্যের আলোক শক্তি তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ছবির বা দৃশ্যের বিভিন্ন অংশের উজ্জ্বলতা বিভিন্ন বলিয়া পরিবর্তনীয় তড়িৎশক্তি পাওয়া যাইবে এবং এই পরিবর্তন বিভিন্ন অংশের উজ্জ্বলতার উপর নির্ভর করিবে।

(iii) গ্রাহককেন্দ্রে পরিবর্তনীয় তড়িৎশক্তিকে পুনরায় আলোক শক্তিতে উপযুক্ত ভাবে রূপান্তরিত করিয়া ছবি বা দৃশ্যের পুনরুৎপাদন করা হয়।

টেলিভিশন ক্যামেরার সাহায্যে কোন ছবিকে বিশ্লেষণ করার সময় ছবিটিকে কতকগুলি কাল্পনিক অনুভূমিক সরলরেখায় ভাগ করা হয় এবং **সন্ধানী বিন্দু** (exploring spot) অর্থাৎ জোরালো ইলেকট্রন রশ্মিকে ছবির উপর দিক হইতে পরপর কল্পিত অনুভূমিক রেখার উপর বামদিক হইতে ডানদিকে দ্রুতগতিতে গোটা ছবিটার উপর চালনা করা হয়। এই ঘটনাটি অনেকটা আমাদের বই পড়ার মত। আমরা চোখ (সন্ধানী বিন্দু) দিয়ে বইয়ের প্রথম লাইন (ছবিতে কল্পিত অনুভূমিক রেখা) পড়ি এবং প্রথম লাইনটি শেষ হওয়ার পর আবার বাঁদিক হইতে দ্বিতীয় লাইনটি পড়া শুরু করি। অনুরূপ ভাবে সন্ধানী বিন্দুটিও যেন গোটা ছবিটিকে পড়িয়া যায়। সন্ধানী বিন্দুটি ছবির উজ্জ্বলতা অনুপাতে পরিবর্তনীয় তড়িৎ-প্রবাহের উৎপাদন করে এবং এই ধরনের তড়িৎ-প্রবাহকে **ভিডিও-সিগ্ন্যাল** (Video-signal) বলা হয়। ভিডিও-সিগন্যালের কম্পাঙ্ক ও বিস্তার কম বলিয়া উহাদিগকে এককভাবে ঈথার মাধ্যমের ভিতর দিয়া দূরে পাঠানো যায় না। এই কারণে ঐ সিগ্ন্যালকে প্রথমে উপযুক্ত ধরণের বিবর্ধকের সাহায্যে বিবর্ধিত করা হয় এবং পরে স্পন্দক (oscillator) হইতে উৎপন্ন অবিচ্ছিন্ন তড়িৎ-তরঙ্গের সহিত মিশাইয়া প্রেরক ষ্টেশনের অ্যানটেনা হইতে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের আকারে ঈথার মাধ্যমে ছড়াইয়া দেওয়া হয়। স্পন্দক হইতে উৎপন্ন তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গকে বাহক তরঙ্গ (carrier wave) বলা হয়। যে যন্ত্রে ভিডিও-সিগন্যাল ও বাহক তরঙ্গকে মেশানো হয় তাহাকে মডিউলেটর এবং মেশানোর ফলে লব্ধ তরঙ্গকে অভিশ্রুত তরঙ্গ (modulated wave) বলা হয়। এই তরঙ্গ বিকিরিত তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ হিসাবে সুউচ্চ অ্যানটেনা বা অ্যারিয়েল হইতে আলোকের গতিবেগে ঈথার মাধ্যমে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে এবং তাহার কিছু অংশ গ্রাহক ষ্টেশনের অ্যানটেনায় ধরা পড়ে। মনে রাখা দরকার যে, যে ছবিটিকে পাঠাইতে হইবে তাহা ভিডিও-সিগন্যালের আকারে অভিশ্রুত তরঙ্গের ভিতর প্রচ্ছন্ন-

ভাবে বর্তমান থাকে। গ্রাহক ষ্টেশনের অ্যানটেনায় অভিশ্রুত তরঙ্গের সামান্য অংশ ধরা পড়ে। ইহার বিস্তার খুব কম বলিয়া উপযুক্ত বিবর্ধনের সাহায্যে ঐ তরঙ্গকে প্রথমে বিবর্ধিত করা হয় এবং তারপর ডিমডুলেটরের ভিতর দিয়া পাঠানো হয়। ডিমডুলেটর হইতে কেবলমাত্র ভিডিও-সিগন্যাল বাহিরে আসিবে এবং ইহাকে বিবর্ধিত করিয়া কিনেস্কোপ (kinescope) যন্ত্রে প্রয়োগ করিলে পাঠানো ছবির পুনরুৎপাদন ঘটিবে। কিনেস্কোপ যন্ত্রটি একটি বিশেষ ধরনের ক্যাথোড রশ্মি অস্‌সিলোগ্রাফ এবং ইহার প্রতিপ্রভ পর্দায় ছবিটি ফুটিয়া উঠে।



চিত্র—2ধ

টেলিভিশনের সাহায্যে ছবি পাঠানোর পদ্ধতি ব্লক চিত্রের সাহায্যে দেখানো হইয়াছে (চিত্র 2 ধ)।

টেলিভিশনের জন্য যে বাহক তরঙ্গ ব্যবহার করা হয় তাহাদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য সাধারণতঃ 10 মিটার হইতে 10 সে.মি. হইয়া থাকে।

টেলিভিশনে আমরা একই সঙ্গে ছবি দেখি এবং শব্দও শুনিতে পাই। রেডিও-র নীতি অবলম্বন করিয়া শব্দ পাঠানো হয়।

2.12. রেডার (Radar): "Radio detection and ranging" এই কথাগুলির আদ্যক্ষর লইয়া ইংরাজীতে Radar শব্দটি তৈয়ারী হইয়াছে। কথাগুলির অর্থ হইতেছে 'বেতার পদ্ধতিতে লক্ষ্যবস্তুর অবস্থিতি এবং দূরত্ব নির্ণয়।' দ্বিতীয় বিশ্ব-মহাযুদ্ধের সময় রেডার আবিষ্কৃত হয়। এই ব্যবস্থায় বেতার তরঙ্গের প্রতিধ্বনির সাহায্যে বিমান, জাহাজ ইত্যাদির অবস্থান, গতিবেগ এবং গতিবেগের অভিমুখ নির্ণয় করা যায়।

কোন পাহাড়ের সম্মুখে বন্দুক ছুড়িলে পাহাড়ের গায়ে প্রতিফলনের জন্য প্রতিধ্বনি শোনা যায়। বায়ুর মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ এবং মূল শব্দের কতক্ষণ পরে প্রতিধ্বনি

শোনা গেল তাহা জানিয়া পাহাড়ের দূরত্ব নির্ণয় করা যায়। পাহাড়ের দূরত্ব x, সময়ের ব্যবধান t এবং শব্দের গতিবেগ V ধরা হইল। প্রতিধ্বনির জন্য শব্দকে $2x$ দূরত্ব অতিক্রম করিতে হইবে।

$$\therefore \quad t=\frac{2x}{V} \quad \text{বা} \quad x=\frac{1}{2}Vt.$$

রেডারও মোটামুটি ভাবে এই নীতির উপর নির্ভরশীল। রেডার ব্যবস্থায় প্রধানতঃ তিনটি যন্ত্রাংশ থাকে ; যথা :— (i) **প্রেরক যন্ত্র** ; (ii) **গ্রাহক যন্ত্র** এবং (iii) **জ্ঞাপক যন্ত্র** (indicator)। প্রেরক যন্ত্রটি খুব শক্তিশালী হওয়া দরকার। এই যন্ত্রের সাহায্যে খুব ক্ষণস্থায়ী (প্রায় 10^{-6} সেকেণ্ড) কিন্তু জোরালো ধরণের বেতার-তরঙ্গ অ্যানটেনা মারফত ঈথার মাধ্যমে ছাড়া হয়। ক্ষণস্থায়ী তরঙ্গগুচ্ছকে নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে ছাড়া হয়। যে বস্তুটির দূরত্ব মাপা হইবে তাহার দূরত্বের উপর নির্ভর করিয়া সময়ের ব্যবধান $\frac{1}{5000}$ সেকেণ্ড হইতে $\frac{1}{25}$ সেকেণ্ড করা হয়। বস্তুটি দূরে থাকিলে সময়ের ব্যবধান বেশী লইতে হইবে। অ্যানটেনা হইতে বিকিরিত বেতার তরঙ্গ আলোকের গতিবেগে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে এবং পথে কোন বাধা (যথা বিমান ইত্যাদি) থাকিলে তরঙ্গের একটি অংশ বস্তুটিতে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় অ্যানটেনায় ফিরিয়া আসে। অ্যানটেনার সহিত গ্রাহক যন্ত্রটি যুক্ত থাকে এবং গ্রাহক যন্ত্রের সাহায্যে প্রতিফলিত সংকেতকে বিবর্ধিত করিয়া জ্ঞাপকযন্ত্রে পাঠানো হয়। ক্যাথোড রশ্মি অস্‌সিলোগ্রাফ সাধারণতঃ জ্ঞাপকযন্ত্র হিসাবে কাজ করে। অস্‌সিলোগ্রাফ যন্ত্রের প্রতিপ্রভ পর্দায় প্রেরিত সংকেত এবং প্রত্যাগত সংকেতের অবস্থান ইত্যাদি জানিয়া লক্ষ্য বস্তুর দূরত্ব, গতিবেগ ইত্যাদি নিমেষের মধ্যে নির্ভুলভাবে জানা যায়।

রেডার ব্যবস্থায় প্রেরিত তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব কম লওয়া হয়। ইহাদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সাধারণত 1 সে. মি. হইতে 10 সে.মি. (microwave region)-এর মধ্যে থাকে বলিয়া তাহাদের কম্পাঙ্ক খুব বেশী হইবে। তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কম বলিয়া সাধারণ বাধার সম্মুখীন হইলে অপবর্তনের জন্য তরঙ্গ বাঁকিয়া যায় না এবং ইহা সহজেই প্রতিফলিত হইতে পারে। তাছাড়া তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কম হওয়ার জন্য অ্যানটেনার আকারও ছোট করা যায়।

প্রেরক যন্ত্র হইতে যখন তরঙ্গগুচ্ছ পাঠানো হয় সেই সময় গ্রাহকযন্ত্রটি নিষ্ক্রিয় থাকে। প্রতিফলিত তরঙ্গ ফিরিয়া আসিলে। গ্রাহক যন্ত্রটি সক্রিয় হইয়া ওঠে। প্রেরিত

তরঙ্গগুচ্ছ t সেকেণ্ড পরে ফিরিয়া আসিলে ; লক্ষ্য বস্তুর দূরত্ব x হইলে এবং আলোকের গতিবেগ C হইলে আমরা পাই,

$$x=\frac{1}{2}Ct.$$

ব্যবহার (Uses) : (i) রেডারের সাহায্যে বিমান, জাহাজ ইত্যাদির অবস্থান, গতিবেগ এবং গতিবেগের অভিমুখ নির্ভুলভাবে জানা যায়। যুদ্ধের সময় শত্রুপক্ষের বিমান কোন গুরুত্বপূর্ণ স্থানে আসিবার পূর্বেই রেডারের সাহায্যে তাহার অবস্থান জানিয়া সতর্কতামূলক ব্যবস্থা নেওয়া সম্ভব।

দুর্যোগপূর্ণ আবহাওয়ায় সাধারণ আলোর সাহায্যে দূরের জিনিষ দেখা যায় না। কিন্তু রেডারে ব্যবহৃত তরঙ্গ উচ্চ কম্পাঙ্কের বলিয়া কুয়াশা, মেঘ, বৃষ্টি ইত্যাদি ঐ তরঙ্গকে প্রতিহত করিতে পারে না। এই কারণেই দুর্যোগপূর্ণ আবহাওয়াতেও রেডারের সাহায্যে নিরাপদে বিমান অবতরণ করিতে পারে অথবা জাহাজ বন্দরে ভিড়িতে পারে।

(iii) রেডারের সাহায্যে মেঘের দূরত্ব, গুণগত প্রকৃতি ইত্যাদি জানা যায় এবং আবহাওয়ার পূর্বাভাস দেওয়াকে সম্ভব করিয়া তোলে। সঠিক পূর্বাভাস চাষবাস এবং অন্যান্য কাজের পক্ষে বিশেষ উপকারী।

(iv) রেডারের সাহায্যে আয়নমণ্ডলের উচ্চতা, প্রকৃতি ইত্যাদি জানা সম্ভব। তাছাড়া বিভিন্ন বৈজ্ঞানিক গবেষণার কাজেও রেডার ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

প্রশ্নাবলী

1. ইলেকট্রনের তাপীয় নিঃসরণ বলিতে কি বোঝায় তাহা সংক্ষেপে আলোচনা কর। কার্য্য-অপেক্ষক কাহাকে বলে ? [Discuss briefly what is meant by thermionic emission of electrons. What is meant by work function ?]

2. ইলেকট্রন নিঃসরণের বিভিন্ন পদ্ধতিগুলির সংক্ষেপে বর্ণনা দাও। তাপীয় আয়ন নিঃসরণের ক্ষেত্রে নিঃসরক হিসাবে কোন্ ধাতু ব্যবহার করা উচিত তাহা ব্যাখ্যা কর। [Describe briefly the different methods of electron emission. Explain why certain specific metals should be used as emitters in the case of thermionic emission.]

3. তাপীয় আয়ন প্রবাহ কাহাকে বলে এবং কিরূপে সংঘটিত হয় তাহা ব্যাখ্যা কর। স্পেস-চার্জ কাহাকে বলে এবং তাপীয় আয়ন প্রবাহের উপর উহার প্রভাব কি ? [Explain what is meant by thermionic current and also how it is produced. Explain the space-charge and its effect on the flow of thermionic current.]

4. একটি ডায়োডের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। ডায়োডকে 'ভালভ' বলা হয় কেন? [Describe a diode and explain its working principle. Why is the diode called a 'valve'?]

5. ডায়োড কাহাকে বলে? ডায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহকে কিরূপে একমুখী করিবে তাহা চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। [What is a diode? Explain with the help of a diagram how a diode can be used to convert an alternating current to a unidirectional one.]

6. ট্রায়োডের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। গ্রিডের কাজ কি? [Describe a triode and explain its working principle. What are the functions of a grid?]

7. ট্রায়োডের স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য রেখ বলিতে কি বুঝায়? লেখচিত্রের সাহায্যে অ্যানোড বৈশিষ্ট্য এবং পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য বুঝাইয়া দাও। [What is understood by the static characteristic curves of a triode? Explain diagramatically the anode and mutual characteristics.]

8. ট্রায়োডকে কিভাবে বিবর্ধক হিসাবে ব্যবহার করা যায় তাহার বর্ণনা দাও। [Describe how a triode can be used as an amplifier.]

9. ক্যাথোড রশ্মি অসিলোগ্রাফের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ইহা কি কাজে লাগে? [Describe briefly a cathode ray oscillograph and explan its working principle. What are its uses?]

10. রেডিও-র কার্যনীতি সংক্ষেপে আলোচনা কর। [Describe briefly the working principle of a radio.]

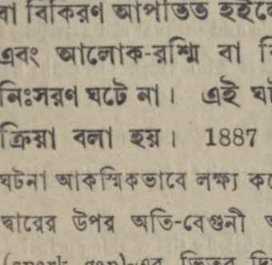
11. টেলিভিশনের কার্যনীতি সংক্ষেপে আলোচনা কর। [Describe briefly the working principle of a television.]

12. রেডার কাহাকে বলে? রেডারের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। ইহা কি কি কাজে লাগে? [What is a radar? Describe the working principle of a radar. What are its uses?]

তৃতীয় অধ্যায়

আলোক-তড়িৎ
(Photo-electricity)

3.1. আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া বা ফটো-তড়িৎ ক্রিয়া (Photo-electric effect) : **কোন ধাতবপৃষ্ঠে উপযুক্ত তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের কোন আলোক-রশ্মি বা বিকিরণ আপতিত হইলে ধাতবপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয় এবং আলোক-রশ্মি বা বিকিরণকে সরাইয়া লইলে ইলেকট্রনের আর নিঃসরণ ঘটে না। এই ঘটনাকে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া বা ফটো-তড়িৎ ক্রিয়া বলা হয়।** 1887 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী হার্ৎস (Hertz) সর্বপ্রথম এই ধরনের ঘটনা আকস্মিকভাবে লক্ষ্য করেন। তিনি দেখিতে পান যে কোন নির্দিষ্ট তড়িৎ-দ্বারের উপর অতি-বেগুনী আলো (ultra-violet light) ফেলিলে স্ফুলিঙ্গ-ফাঁক (spark gap)-এর ভিতর দিয়া সহজেই স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি হয়। তিনি অবশ্য এ বিষয়ে আর বিশেষ কোন পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন নাই। 1888 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী হলওয়াক (Hallwachs), এলষ্টার (Elester) এবং গিটাল (Gietel) ফটো-তড়িৎ ক্রিয়ার বিষয়ে একটি পরীক্ষার ব্যবস্থা করেন। একটি বায়ুশূন্য কোয়ার্টজ (quartz) বাল্বে দুইটি দস্তার পাত (A, B) রাখা হয় এবং পাত দুইটিকে ব্যাটারী B এবং গ্যালভানোমিটার G-এর সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হয় (চিত্র 3ক)। পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে ঋণাত্মক A-পাতটির উপর অতি বেগুনী আলোক-রশ্মি ফেলিলে বর্তনীটিতে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিতেছে এবং আলোক-রশ্মি সরাইয়া লইলে তড়িৎ-প্রবাহও সঙ্গে সঙ্গে বন্ধ হইয়া যাইতেছে। কিন্তু অতি বেগুনী আলোক-রশ্মিকে A-পাতের বদলে ধনাত্মক B-পাতের উপর আপতিত করিলে বর্তনীতে আদৌ কোন তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে না। ইহার ব্যাখ্যা হিসাবে বলা যাইতে পারে যে অতি বেগুনী রশ্মিকে A-পাতের উপর ফেলিলে ঐ পাতের পৃষ্ঠ হইতে ঋণাত্মক আধান বাহির হইয়া আসে এবং ঐ আধান ধণাত্মক পাত কর্তৃক আকৃষ্ট হইয়া বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি



চিত্র—3ক

করে। অতি বেগুনী রশ্মিকে B-পাতের উপরে ফেলিলেও ঋণাত্মক আধান বাহির হইয়া আসিবে, কিন্তু ঐ আধানগুলি ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার কর্তৃক বিকর্ষিত হইবে বলিয়া বর্তনীতে কোন তড়িৎ-প্রবাহ ঘটিবে না। 1898 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী থম্‌সন (Thomson) প্রমাণ করেন যে ফটো-তড়িৎ ক্রিয়ার ফলে নিঃসরিত আধানগুলি ইলেকট্রন ছাড়া আর কিছুই নহে। পরবর্তীকালে বিজ্ঞানীরা লক্ষ্য করেন যে অতি বেগুনী রশ্মি দস্তার বদলে ম্যাগনেসিয়াম, লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাসিয়াম ইত্যাদির পাতের উপরেও আপতিত হইলে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয়। তাছাড়া লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাসিয়াম প্রভৃতি ক্ষারধাতুগুলির পাতের উপর দৃশ্যমান আলো (visible light) আপতিত হইলেও আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়। গামা রশ্মি, এক্স-রশ্মি ইত্যাদির কম্পাঙ্ক খুব বেশী এবং তাহারা অধিকাংশ ধাতুতেই আপতিত হইয়া ফটো-তড়িৎ ক্রিয়া ঘটাইতে পারে।

বিভিন্ন ধরনের ধাতুর উপর বিভিন্ন প্রকৃতির আলোক-রশ্মি এবং বিকিরণ আপতিত করিয়া পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা হয় এবং আলোক-তড়িতের বিষয়ে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি ধরা পড়ে :—

(i) কোন নির্দিষ্ট ধাতুর উপর আপতিত আলোকের তীব্রতা যত বেশীই হোক না কেন আলোক-রশ্মির কম্পাঙ্ক একটি নির্দিষ্ট মানের কম হইলে ঐ ধাতু হইতে কোন ইলেকট্রন নির্গত হইবে না। কম্পাঙ্কের এই নিম্নসীমাকে **প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক** (threshold freque ncy) বলা হয়। বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক বিভিন্ন।

(ii) আপতিত আলোক-রশ্মির কম্পাঙ্ক প্রয়োজনীয় প্রারম্ভ-কম্পাঙ্কের বেশী হইলে ধাতু হইতে নির্গত ইলেকট্রনের সংখ্যা আপতিত আলোকের তীব্রতার সহিত সমানুপাতিক।

(iii) ফটো-তড়িৎ ক্রিয়ার ফলে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি আপতিত আলোকের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে কিন্তু আলোকের তীব্রতার উপর মোটেই নির্ভর করে না। কম্পাঙ্ক বাড়িলে সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান বাড়িয়া যায়।

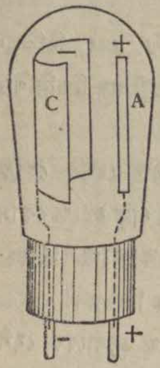
(iv) ফটো-ইলেকট্রনগুলির প্রাথমিক গতিবেগ শূন্য হইতে একটি সর্বোচ্চ মান লাভ করিতে পারে। সর্বোচ্চ গতিবেগের মান পরীক্ষণীয় ধাতু এবং আপতিত আলোকের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল।

(v) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক (instantaneous) ঘটনা। ফটো-ইলেকট্রনের নিঃসরণ আলো আপতিত হইবার সঙ্গে সঙ্গে শুরু হয় এবং আলো সরাইয়া লইলে সঙ্গে সঙ্গেই বন্ধ হইয়া যায়।

আলোকের প্রচলিত তরঙ্গবাদের সাহায্যে উপরের সমস্ত ঘটনাগুলির ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব হইল না। পরবর্তীকালে 1905 খ্রীষ্টাব্দে বিশ্ববিখ্যাত বিজ্ঞানী আইনষ্টাইন কোয়ান্টাম মতবাদের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হন।

3.2. আলোক-তড়িৎ কোষ (photo-electric cells) : কোন ধাতবপৃষ্ঠে উপযুক্ত কম্পাঙ্কের আলোকরশ্মি আপতিত হইলে ধাতবপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয়। এই ঘটনার উপর আলোক-তড়িৎ কোষের কার্যনীতি নির্ভর করে।

3থ নং চিত্রে একটি আলোক-তড়িৎ কোষ দেখানো হইয়াছে। এই কোষে একটি কাচের বাল্‌বের ভিতর রক্ষিত অর্ধচোঙাকৃতি ধাতব প্লেট (C) ক্যাথোড হিসাবে এবং চোঙের অক্ষ বরাবর রক্ষিত একটি ধাতব তার (A) বা জালি অ্যানোড হিসাবে কাজ করে। ক্যাথোডটি রূপার তৈয়ারী এবং উহার উপর তড়িৎসংবেদনশীল উপযুক্ত ধরনের ধাতুর বা ধাতু সংকরের প্রলেপ দেওয়া হয়। আলোক তড়িৎ-কোষটি সাধারণ দৃশ্যমান আলোকে ব্যবহার করিতে হইলে ক্যাথোডের উপর সিজিয়াম অক্সাইড অথবা অ্যান্টিমনি-ক্যালসিয়াম অথবা বিসমাথ, রূপা এবং সিজিয়াম অক্সাইডের প্রলেপ দেওয়া হয়। এই সমস্ত প্রলেপ ব্যবহার করিলে ইলেকট্রন নিঃসরণের পরিমাণ খুব বেশী হয়। দৃশ্যমান আলোকের সাপেক্ষে ক্যাথোডের উপর ক্ষারজাতীয় ধাতু যথা সোডিয়াম, পটাসিয়াম ইত্যাদিরও প্রলেপ দেওয়া যাইতে পারে। আলোক তড়িৎ-কোষের বাল্‌বটি বায়ুশূন্য অথবা নিষ্ক্রিয় গ্যাসপূর্ণ থাকিতে পারে। বায়ুশূন্য কোষে তড়িৎ-প্রবাহ খুব কম হয় কিন্তু প্রবাহের মাত্রা আপতিত আলোকের তীব্রতার সহিত সমানুপাতিক হইয়া থাকে। গ্যাসপূর্ণ বাল্‌বের ক্ষেত্রে বাল্‌বটির ভিতর 0·1 হইতে 1 মিমি. পারদ চাপে আর্গন, হিলিয়াম অথবা নিয়ন রাখা হয়। ক্যাথোড হইতে নির্গত ইলেকট্রন অ্যানোডের অভিমুখে ধাবিত হইবার সময় গ্যাসের অণুতে ধাক্কা খাইয়া উপযুক্ত অবস্থায় আয়নয়ন ঘটাইয়া থাকে। ইহার ফলে ইলেকট্রনের সংখ্যা বাড়িয়া যায় এবং প্রবাহমাত্রাও বৃদ্ধি পায়। গ্যাসপূর্ণ কোষে তড়িৎ-প্রবাহ বেশী হইলেও প্রবাহের মাত্রা আপতিত আলোকের তীব্রতার সহিত সমানুপাতিক হয় না।



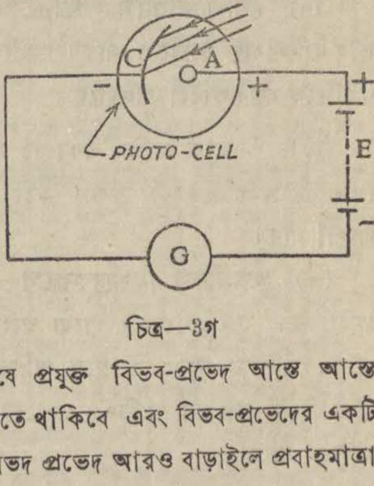
চিত্র—3থ

যে কোন ধরনের আলোক-তড়িৎ কোষে সাধারণভাবে প্রবাহমাত্রা খুবই কম

থাকে বলিয়া ব্যবহারিক প্রয়োগের জন্য ঐ প্রবাহমাত্রাকে উপযুক্ত বিবর্ধকের সাহায্যে বিবর্ধিত করা হয়।

সাধারণ দৃশ্যমান আলোর পরিবর্তে বেগনী-পারের রশ্মি বা অতি বেগনী রশ্মি ব্যবহার করিতে হইলে কোষের বাল্‌বটিকে কাচের পরিবর্তে কোয়ার্টজ দ্বারা তৈয়ারী করিতে হইবে। ইহার কারণ কাচ বেগনী পারের অতি বেগনী রশ্মি শোষণ করিয়া লয়।

3গ নং চিত্রে আলোক-তড়িৎ কোষকে কিভাবে তড়িৎ বর্তনীতে যুক্ত করা হয় তাহা দেখানো হইয়াছে। G একটি সুবেদী গ্যালভেনোমিটার এবং E একটি ব্যাটারী। ব্যাটারীর বিভব প্রায় 100 ভোল্ট হইয়া থাকে। ব্যাটারীর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রান্তকে যথাক্রমে কোষের অ্যানোড ও ক্যাথোডের সহিত যুক্ত করা হয়। ক্যাথোডের উপর উপযুক্ত কম্পাঙ্কের আলোক আপতিত হইলে ক্যাথোড হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হইবে এবং নিঃসরিত ইলেকট্রনগুলি অ্যানোড কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি করিবে। আপতিত আলোকের তীব্রতা এবং প্রকৃতি অপরিবর্তিত রাখিয়া আলোক-তড়িৎ কোষে প্রযুক্ত বিভব-প্রভেদ আস্তে আস্তে বাড়াইতে থাকিলে প্রবাহমাত্রাও ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিবে এবং বিভব-প্রভেদের একটি নির্দিষ্ট মানে তড়িৎ-প্রবাহ সর্বোচ্চ হইবে। বিভদ প্রভেদ আরও বাড়াইলে প্রবাহমাত্রা আর বাড়িবে না। এই অবস্থায় তড়িৎ-প্রবাহকে সংপৃক্ত প্রবাহ (saturated current) বলা হয়। ইহার কারণ হিসাবে বলা যাইতে পারে যে নির্দিষ্ট তীব্রতা ও কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট আলোক আপতিত হইয়া ধাতবপৃষ্ঠ হইতে নির্দিষ্ট হারে ইলেকট্রন নিঃসরিত করে। প্রযুক্ত বিভবপ্রভেদ কম থাকিলে নিঃসরিত সমস্ত ইলেকট্রনকে অ্যানোড আকর্ষিত করিতে পারে না। সংপৃক্ত অবস্থায় বিভব-প্রভেদের মান এমন থাকে যে, যে হারে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয় ঠিক সেই হারেই তাহারা অ্যানোড কর্তৃক আকর্ষিত হয়। ইলেকট্রন নিঃসরণের হার নির্দিষ্ট বলিয়া বিভেদপ্রভেদ আরও বাড়াইলেও প্রবাহমাত্রা আর বাড়িবে না। অবশ্য আপতিত আলোকের তীব্রতা বাড়াইলে সংপৃক্ত প্রবাহের মান সমানুপাতিক হারে বাড়িয়া যাইবে।



চিত্র—3গ

3.3. আলোক-তড়িৎকোষের ব্যবহার (Uses of photo-electric cells) : আমাদের দৈনন্দিন জীবনে আলোক-তড়িৎ কোষ বিভিন্ন কাজে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। নিম্নে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রয়োগের কথা বলা হইল :—

(i) **সবাক চলচ্চিত্রে**—ফিল্মের একটি নির্দিষ্ট অংশ শব্দ গ্রহণের জন্য নির্দিষ্ট থাকে। ফিল্মে শব্দ গ্রহণ এবং ফিল্ম হইতে শব্দের পুনরুৎপাদন অলোক-তড়িৎ কোষের সাহায্যে করা হইয়া থাকে।

(ii) **টেলিভিশানে**—যে ছবি বা দৃশ্যকে দূরে পাঠাইতে হইবে তাহার বিশ্লেষণ (scanning) বিশেষ ধরনের ক্যামেরা আইকনোস্কোপের সাহায্যে করা হয়। এই ধরনের ক্যামেরায় আলোক-তড়িৎ কোষ ব্যবহার করা হয়।

(iii) **বেলিনোগ্রাম পদ্ধতিতে**—এক দেশ হইতে অন্য দেশে অতি অল্প সময়ে ছবি বা সংবাদ পাঠানো যায়। আলোক তড়িৎ কোষের ব্যবহার বেলিনোগ্রাম পদ্ধতিকে সম্ভব করিয়া তুলিয়াছে।

(iv) আলোক তড়িৎ কোষের সাহায্যে দুইটি আলোক উৎসের দীপন শক্তির (luminous intensity) তুলনা করা যায় অথবা সরাসরি তাহাদের **দীপনশক্তি মাপা** যায়।

(v) **স্বয়ংক্রিয় নিয়ন্ত্রকরূপে**—আলোক তড়িতকোষকে বহুক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়। এই কোষের সাহায্যে স্বয়ংক্রিয়ভাবে রাস্তার বাতি জ্বালানো বা নিভানো যায়। তাছাড়া ট্রেনের সিগন্যাল, অগ্নিসংকেত যন্ত্র, স্বয়ংক্রিয় গনকযন্ত্র, সংকেত আলো ইত্যাদিকে আলোক তড়িৎ কোষের সাহায্যে স্বয়ংক্রিয় ভাবে নিয়ন্ত্রিত করা যাইতে পারে।

3.4. কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে ফটো-তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যা (Explanation of photo-electric effect with the help of quantum theory) : আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বিষয়ে পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিয়া দেখা যায় যে :—

(i) আপতিত আলোক রশ্মির কম্পাঙ্ক নির্দিষ্ট মানের কম হইলে ফটো ইলেকট্রনের কোন নিঃসরণ ঘটিবে না। (ii) নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ আপতিত আলোকের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল এবং (iii) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

আলোকের প্রচলিত তরঙ্গবাদের সাহায্যে এই সমস্ত ঘটনার ব্যাখ্যা দেওয়া যায় না। তরঙ্গবাদ অনুযায়ী তরঙ্গমুখের সর্বত্র সমভাবে শক্তি ছড়াইয়া থাকিবে। সুতরাং

কোন ধাতব পৃষ্ঠে আলোক তরঙ্গ আপতিত হইলে সমগ্র ধাতবপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নির্গত হওয়া উচিত। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে ইহা পরিলক্ষিত হয় না। তাছাড়া আলোকের তীব্রতা বাড়িলে তরঙ্গের বিস্তার (amplitude) তথা শক্তির পরিমাণ বাড়িবে। সুতরাং যে কোন কম্পাঙ্কের তীব্র আলো আপতিত করিলে ইলেকট্রন নির্গত হওয়া উচিত। অপরপক্ষে ক্ষীণ আলোকের শক্তি কম বলিয়া ইলেকট্রনের নিঃসরণ ঘটিবেনা; কিম্বা ঘটিলেও বিলম্বে ঘটা উচিত। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় যে আপতিত আলোকের তীব্রতা কম বা বেশী যাই হোক না কেন ইলেকট্রনের নিঃসরণ তাৎক্ষণিক এবং ঐ নিঃসরণ কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। বিজ্ঞানী আইনষ্টাইন কোয়ান্টাম মতবাদের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হন। তাঁহার মতে যখন কোন বস্তু হইতে আলোক শক্তি নির্গত হয় তখন তাহা নিরবিচ্ছিন্ন ধারায় ঘটে না। অপর পক্ষে আলোক শক্তি বিচ্ছিন্নভাবে, এক একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির প্যাকেটরূপে নির্গত হয়। সুতরাং আলোককে অসংখ্য কণিকার সমষ্টি হিসাবে এবং প্রত্যেকটি কণিকাকে নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির ঘনীভূত রূপ হিসাবে ভাবা যাইতে পারে। এই কণিকাগুলিকে বলা হয় **আলোক-কণিকা** বা **ফোটন** (photon)। আলোকের কম্পাঙ্ক ν এবং প্লাঙ্কের ধ্রুবক h হইলে ফোটনের শক্তি, $E=h\nu$ হইবে। কম্পাঙ্ক বেশী বা কম হইলে ফোটনের শক্তি যথাক্রমে বেশী বা কম হইবে। নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট বিভিন্ন ফোটনের শক্তি সর্বদাই একই থাকিবে। শূন্য মাধ্যমে ফোটনের গতিবেগ আলোকের গতিবেগের সমান। ধাতব-পৃষ্ঠ হইতে কোন ইলেকট্রনকে বিচ্ছিন্ন করিতে হইলে কিছু পরিমাণ কার্যের প্রয়োজন। ইহাকে কার্য-অপেক্ষক (work function) বলা হয় এবং সাধারণতঃ W_0 দ্বারা সূচিত করা হয়। আমরা জানি ν কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট কোন ফোটনের শক্তি $h\nu$ হইবে। মনে কর, এই ফোটনটি এবং ধাতব বস্তুর পরমাণুর মধ্যে স্থিতিস্থাপক সংঘাত সংঘটিত হয়। আইষ্টাইনের মতে এই ধরনের সংঘাতের সময় পরমাণুটি ফোটনের সমস্ত শক্তি শোষণ করিয়া লইবে অথবা মোটেই কোন শক্তি গ্রহণ করিবে না।

মনে কর, সংঘাতের ফলে ফোটন তাহার সমস্ত শক্তি হারায় এবং একটি ইলেকট্রন ধাতবপৃষ্ঠ হইতে বাহির হইয়া আসে। ইলেকট্রনের ভর m এবং নিঃসরণের সময় গতিবেগ v হইলে ইলেট্রনের গতিশক্তি $\frac{1}{2}mv^2$ হইবে। এইক্ষেত্রে কার্যঅপেক্ষক W_0 হইলে শক্তির সংরক্ষণ নীতি অনুযায়ী

$$h\nu=W_0+\tfrac{1}{2}mv^2 \quad \text{বা,} \quad \tfrac{1}{2}mv^2=h\nu-W_0$$

উপরের সমীকরণটিকে আইনষ্টাইনের **আলোক-তড়িৎ সমীকরণ** বলা হয়। যদি আলোকের কম্পাঙ্ক এমন হয় যে ফোটনের শক্তি ($h\nu$) কার্য-অপেক্ষকের তুলনায় কম, তাহা হইলে ইলেকট্রনের কোন নিঃসরণ ঘটিবেনা। কিন্তু $h\nu$-এর মান W_0-এর সমান অথবা W_0 অপেক্ষা বেশী হইলে ইলেকট্রনের নিঃসরণ ঘটিবে। যদি $W_0=h\nu_0$ ধরা হয় তাহা হইলে ν_0 প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক সূচিত করিবে। সুতরাং আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক ν_0 অপেক্ষা কম হইলে কোন ফটো-ইলেকট্রন নিঃসরিত হইবে না। তাছাড়া নির্গত ইলেকট্রনের গতিবেগ ফোটনের শক্তির উপর অর্থাৎ আলোকের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করিবে, কিন্তু উহার তীব্রতার উপর নির্ভর করিবে না। আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক নির্দিষ্ট মানের বেশী হইলে আলোকের তীব্রতা বাড়াইলে আপতিত ফোটনের সংখ্যা এবং সেই সঙ্গে নির্গত ইলেকট্রনের সংখ্যাও বাড়িয়া যাইবে। তাছাড়া ফোটন ও পরমাণুর সংঘাত স্থিতিস্থাপক ধরনের বলিয়া শক্তি বিনিময়ের তথা ইলেকট্রন নিঃসরণের ব্যাপার একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা হিসাবে দেখা যাইবে।

সুতরাং আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলিকে আইনষ্টাইনের মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব হইল।

উদাহরণ:

1. আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 6000 A° হইলে ফোটনের শক্তি বাহির কর। (দেওয়া আছে, $h=6{\cdot}63\times10^{-27}$ আর্গ-সেকেণ্ড)। [Calculate the energy of a photon when the wavelength of light is 6000 A°.]

উঃ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda=6000A^\circ=6000\times10^{-8}$ সে. মি.$=6\times10^{-5}$ সে. মি.

ফোটনের শক্তি, $E=h\nu=\dfrac{hc}{\lambda}=\dfrac{6{\cdot}63\times10^{-27}\times3\times10^{10}}{6\times10^{-5}}$

$=3{\cdot}315\times10^{-12}$ আর্গ।

2. জিঙ্কের কার্য-অপেক্ষক 3·6 ইলেকট্রন-ভোল্ট হইলে, আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার জন্য প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক বাহির কর। ধর, $h=6{\cdot}4\times10^{-27}$ আর্গ-সেকেণ্ড এবং $1eV=1{\cdot}6\times10^{-12}$ আর্গ। [If the work function of zinc be 3·6 eV. then find out the threshold frequency for photo-eletric effect.]

উঃ কার্য অপেক্ষক, $W_0=3{\cdot}6\,eV=3{\cdot}6\times1{\cdot}6\times10^{-12}$ আর্গ$=h\nu_0$

$\therefore$ প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক $\nu_0=\dfrac{3{\cdot}6\times1{\cdot}6\times10^{-12}}{6{\cdot}4\times10^{-27}}=9\times10^{14}$ প্রতি সেকেণ্ডে।

3. কোন ধাতুর কার্য-অপেক্ষক 2·28 ইলেকট্রন ভোল্ট। ঐ ধাতব পৃষ্ঠে 3000 A. U. তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট অতিবেগুনী আলোক আপতিত হইলে নিঃসরিত ইলেকট্রনের গতিবেগ বাহির কর। ধর, ইলেকট্রনের ভর $=9\times10^{-28}$ গ্রাম এবং $h=6{\cdot}62\times10^{-27}$ আর্গ-সেকেণ্ড। [A ray of ultraviolet light of wavelength 3000 A. U. falling on the surface of a material, whose work function is 2·28 *e*V, ejects an electron. What will be the velocity of the ejected electron ?] [C. U. Hons.]

উঃ কার্য অপেক্ষক, $W_0=2{\cdot}28\text{ eV}=2{\cdot}28\times1{\cdot}6\times10^{-12}$ আর্গ

$=3{\cdot}648\times10^{-12}$ আর্গ।

আপতিত আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, $\lambda=3000\text{ A. U.}=3000\times10^{-8}$ সে. মি.

$=3\times10^{-5}$ সে. মি.

$$\text{কম্পাঙ্ক, } \nu=\frac{c}{\lambda}=\frac{3\times10^{10}}{3\times10^{-5}}=10^{15} \text{ প্রতি সেকেণ্ডে।}$$

নিঃসরিত ইলেকট্রনের গতিবেগ v ধরা হইলে আইনষ্টাইনের সমীকরণ হইতে আমরা পাই $h\nu=W_0+\frac{1}{2}mv^2$

$$\therefore\quad \tfrac{1}{2}mv^2=h\nu-W_0=6{\cdot}62\times10^{-27}\times10^{15}-3{\cdot}648\times10^{-12}$$

$$=2{\cdot}972\times10^{-12} \text{ আর্গ।}$$

$$\text{বা, } v=\sqrt{\frac{2\times2{\cdot}972\times10^{-12}}{m}}=\sqrt{\frac{2\times2{\cdot}972\times10^{-12}}{9\times10^{-28}}}$$

$$=8{\cdot}13\times10^{7} \text{ সে. মি./সেকেণ্ড।}$$

প্রশ্নাবলী

1. আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া কাহাকে বলে ? পরীক্ষার সাহায্যে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া বুঝাইয়া দাও। আলোক-তড়িতের বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ। [What is photo-electric effect ? Illustrate photo-electric effect with the help of an experiment. State the characteristics of photo-electricity.]

2. আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। আলোক-তড়িৎ কোষের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। আলোক-তড়িৎ কোষ কি কি কাজে লাগে। [Explain what is meant by photo-electric effect. Describe a photo-electric cell and explain its working principle. What are the uses of a photo-electric cell ?]

3. আলোক-তড়িতের বৈশিষ্ট্যগুলি আলোকের তরঙ্গবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায় না কেন? [Why could not the wave theory of light explain the characteristics of photo-electricity ?]

4. কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে ফটো-তড়িৎক্রিয়ার ব্যাখ্যা দাও। [Explain photo-electric effect with the help of quantum theory.]

5. আলোক তরঙ্গের দৈর্ঘ্য 5000A° হইলে ফোটনের শক্তি বাহির কর। দেওয়া আছে $h=6{\cdot}63\times10^{-27}$ আর্গ-সেকেণ্ড। [Find the energy of a photon if the wavelength of light be 5000A°. Given $h=6{\cdot}63\times10^{-27}$ erg-sec.] [উঃ $3{\cdot}98\times10^{-12}$ আর্গ]

6. ফোটনের শক্তি $6{\cdot}63\times10^{-11}$ আর্গ হইলে উহার কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। দেওয়া আছে, $h=6{\cdot}63\times10^{-27}$ আর্গ-সেকেণ্ড। [If the energy of a photon be $6{\cdot}63\times10^{-11}$ erg, then find out its frequency. Given, $h=6{\cdot}63\times10^{-27}$ erg-sec.] [উঃ 10^{16} প্রতি সেকেণ্ডে]

চতুর্থ অধ্যায়

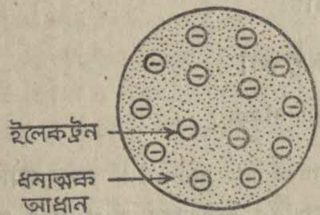
পরমাণুর গঠনশৈলী

(Structure of an atom)

4.1. পরমাণুর গঠনশৈলী (Structure of an atom) **:** কোন মৌলিক পদার্থের সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম অংশ যাহা রাসায়নিক পরিবর্তনে অংশ গ্রহণ করে তাহাকে **পরমাণু** বলা হয়। ডালটনের মতানুসারে পরমাণু, পদার্থের ক্ষুদ্রতম অংশ ও অবিভাজ্য। কিন্তু পরবর্তীকালে গবেষণার ফলে এই ধারণার পরিবর্তন ঘটিয়াছে। উনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগে ইলেকট্রন আবিষ্কৃত হয় এবং তাহার আধান, ভর ইত্যাদি মাপা হয় এবং দেখা যায় যে উহার ভর ও আধান যথাক্রমে $9{\cdot}11 \times 10^{-28}$ গ্রাম এবং $1{\cdot}601 \times 10^{-19}$ কুলম্ব। ইলেকট্রনের ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের 1837 ভাগের এক ভাগ মাত্র। কিন্তু যে কোন বস্তু হইতে যে কোন ভাবেই ইলেকট্রন সংগ্রহ করা হউক না কেন ইলেকট্রনগুলি একই প্রকৃতির হইবে। সুতরাং সিদ্ধান্ত করা যাইতে পারে যে, যে কোন পরমাণুর সাধারণ উপাদান হিসাবে ইলেকট্রন বিদ্যমান থাকে। আমরা জানি, যে কোন পরমাণু সামগ্রিক ভাবে তড়িৎ-উদাসীন। কিন্তু পরমাণুর উপাদান হিসাবে অপরা-তড়িৎযুক্ত ইলেকট্রন বর্তমান থাকে। সুতরাং পরমাণুকে তড়িৎ-উদাসীন করার জন্য উহাতে সম-পরিমাণ পরা-বিদ্যুৎ থাকা আবশ্যক। পরমাণুর গঠনশৈলীর ব্যাপারে বিজ্ঞানী জে. জে. টমসন (J. J. Thomson), রাদারফোর্ড (Rutherford), বোর (Bohr) প্রভৃতি বিভিন্ন সময়ে পরমাণুর এক একটি মডেল (model) বা গঠন-কল্পের অবতারণা করেন। নিম্নে কয়েকটি গঠন-কল্পের কথা সংক্ষেপে বলা হইল।

4.2. টমসনের পারমাণবিক মডেল বা গঠনকল্প (Thomson's atomic model) **:** সামগ্রিক ভাবে যে কোন পরমাণু তড়িৎ-উদাসীন এবং পরমাণুর উপাদান হিসাবে ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রন বিদ্যমান। সুতরাং পরমাণুকে তড়িৎ-উদাসীন করার জন্য উহাতে সম-পরিমাণ ধনাত্মক আধান থাকিতে হইবে। পরমাণুতে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আধানগুলি কিভাবে সজ্জিত থাকে সেই ব্যাপারে টমসন বলেন যে পরমাণু একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং এই গোলকের

অভ্যন্তরে ধনাত্মক আধান সর্বত্র সুষমভাবে ছড়ানো থাকে। তাছাড়া ঋণাত্মক ইলেকট্রনগুলি ঐ গোলকের অভ্যন্তরে ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে অবস্থিত থাকিবে এবং ইলেকট্রনের মোট ঋণাত্মক আধান গোলকের মোট ধনাত্মক আধানের সমান হইবে (চিত্র 4ক)। তিনি আরও বলেন যে গোলকের মধ্যে ধনাত্মক আধান এবং ঋণাত্মক ইলেকট্রন এমনভাবে বণ্টিত থাকে যে পরস্পরের মধ্যে স্থির তাড়িতিক বল তাহাদিগকে পরমাণুর মধ্যে ধরিয়া রাখে। উপযুক্ত অবস্থায় যে কোন মৌলিক পদার্থ নির্দিষ্ট ধরনের বর্ণালীর সৃষ্টি করে।



চিত্র—4 ক

বর্ণালী উৎপত্তির ব্যাপারে টমসন বলেন যে পরমাণুতে অবস্থিত ইলেকট্রনগুলি তাহাদের সাম্যাবস্থার চারিদিকে কম্পিত হইতে থাকে এবং আধানের কম্পনের জন্য তড়িচ্চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুযায়ী শক্তি নির্গত হইয়া বর্ণালীর সৃষ্টি করে।

টমসন মডেলের ত্রুটি ঃ (i) টমসনের মতে পরমাণুর ভিতরে অবস্থিত ইলেকট্রনের কম্পনের জন্য বর্ণালীর সৃষ্টি হয়। হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি মাত্র ইলেকট্রন থাকে। সুতরাং একটি ইলেকট্রন একটি মাত্র বর্ণালী রেখার সৃষ্টি করিতে পারে। কিন্তু পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে হাইড্রোজেনের একাধিক বর্ণালী আছে এবং প্রত্যেক বর্ণালীতে একাধিক রেখা বিদ্যমান।

(ii) ধনাত্মক তড়িৎবাহী আলফাকণা (α-particle) তেজস্ক্রিয় (radio-active) বস্তু হইতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে বাহির হইয়া আসে এবং এই কণাগুলি প্রত্যেক ইলেকট্রন হইতে প্রায় সাড়ে সাত হাজার গুণ ভারী। রাদারফোর্ড খুব পাতলা (10^{-4} সে.মি.) সোনার পাতের ভিতর দিয়া দ্রুতগতি সম্পন্ন আলফাকণা পাঠাইয়া লক্ষ্য করিলেন যে (*a*) অধিকাংশ আলফাকণা যেন বিনা বাধায় পাতটিকে ভেদ করিয়া চলিয়া গেল এবং (*b*) বিক্ষেপণের ফলে কতকগুলি আলফাকণার বিচ্যুতি 90° অপেক্ষা বেশী হইল। প্রথম ঘটনাটি প্রমাণ করে যে পরমাণুর অধিকাংশ স্থান ফাঁকা কারণ তাহা না হইলে অধিকাংশ আলফাকণাগুলি সরাসরি বাহির হইয়া যাইতে পারিত না। দ্বিতীয়তঃ, পরমাণুর ও আলফাকণার ধনাত্মক আধানের মধ্যে বিকর্ষণের জন্য আলফাকণা বিক্ষেপিত হইতে পারে। আধান দুইটির পারস্পরিক দূরত্ব কম হইলে বিকর্ষণ এবং সঙ্গে সঙ্গে বিচ্যুতি বেশী হইবে। পরমাণু গোলকে সুষমভাবে ধনাত্মক আধান ছড়াইয়া থাকিলে এত বেশী বিচ্যুতি (90° অপেক্ষা বেশী) সম্ভব হইতে পারে

না। উপরন্তু পরীক্ষালব্ধ ফল অনুসারে ধনাত্মক আধানকে পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে অতি ক্ষুদ্র আয়তনে কেন্দ্রীভূত থাকিতে হইবে।

এই সমস্ত অসুবিধা দূর করার প্রয়াসে রাদারফোর্ড নূতন একটি গঠন-কল্পের প্রস্তাব করেন।

4.3. রাদারফোর্ডের পারমাণবিক মডেল বা গঠনকল্প (Rutherford's atomic model)ঃ 1906 খ্রীষ্টাব্দে রাদারফোর্ড আলফাকণার বিক্ষেপণ লইয়া পরীক্ষা করেন এবং পরীক্ষালব্ধ ফল অনুসারে তিনি একটি গঠনকল্পের অবতারণা করেন। এই গঠনকল্পকে রাদারফোর্ডের পারমাণবিক গঠনকল্প বলা হয়। তাঁহার মতে পরমাণুর ধনাত্মক আধানগুলি পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে অতি অল্প পরিসর স্থানে কেন্দ্রীভূত অবস্থায় থাকে। তিনি এই কেন্দ্রস্থলের নাম দেন **নিউক্লিয়াস** (nucleus)। ইলেকট্রনের ভর নিতান্ত নগণ্য বলিয়া পরমাণুর প্রায় সমগ্র ভর নিউক্লিয়াসে কেন্দ্রীভূত থাকে। পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের চারিদিকে ছড়াইয়া থাকিবে। কিন্তু ইলেকট্রনগুলি যদি স্থির অবস্থায় থাকে তাহা হইলে নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ধনাত্মক আধানের আকর্ষণের জন্য ঋণাত্মক ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসে আপতিত হইয়া পরমাণুর স্থায়িত্ব (stability) বিনষ্ট করিবে। এই অসুবিধা দূর করার জন্য রাদারফোর্ড বলেন যে সৌরজগতে যেমন গ্রহগুলি সূর্যের চারিদিকে নিজ নিজ কক্ষে আবর্তিত হয় অনুরূপভাবে ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের চারিদিকে আবর্তিত হইতে থাকে। আবর্তনের জন্য ইলেকট্রনের উপর অপকেন্দ্র (centrifugal) বল ক্রিয়া করে এবং এই বল ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল স্থির তাড়িতিক বলকে প্রশমিত করে। ইহার ফলে পরমাণুটি স্থায়িত্ব লাভ করে।

রাদারফোর্ড মডেলের ত্রুটি ঃ (i) তড়িচ্চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে কোন তড়িৎ আধানের গতিতে ত্বরণ থাকিলে ঐ আধান হইতে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের আকারে শক্তি চারিদিকে ছড়াইয়া পড়িবে। বৃত্তীয় গতি এক প্রকারের ত্বরিত গতি (accelerated motion)। সুতরাং পরমাণুর ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চারিদিকে বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকিলে ইলেকট্রনের শক্তি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের আকারে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়িবে। ইহার ফলে ইলেকট্রনের মোট শক্তির পরিমাণ কমিতে থাকিবে, ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের দিকে সরিয়া আসিতে থাকিবে এবং অবশেষে নিউক্লিয়াসে আপতিত হইয়া লীন হইয়া যাইবে। সুতরাং রাদারফোর্ডের মডেল অনুযায়ী পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের স্বাধীন অস্তিত্ব থাকিতে পারে না। কিন্তু বাস্তব ঘটনা সম্পূর্ণ বিপরীত।

(ii) উপযুক্ত অবস্থায় যে কোন মৌলিক পদার্থ নির্দিষ্ট ধরনের বর্ণালীর সৃষ্টি করে এবং বর্ণালীর বিভিন্ন তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য তথা কম্পাঙ্ক সুনির্দিষ্ট। রাদারফোর্ডের মডেল অনুযায়ী ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চারিদিকে আবর্তিত হয়। মনে কর, আবর্তনের সময় ইলেকট্রন যে কম্পাঙ্কে ঘুরিতে থাকে ইলেকট্রনটি সেই কম্পাঙ্কের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ তথা বর্ণালীর সৃষ্টি করে। কিন্তু ইলেকট্রনটি যে কোন কক্ষপথে ঘুরিতে পারে। সেক্ষেত্রে যে-কোন মৌলিক পদার্থে যে-কোন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বর্ণালীর সৃষ্টি করিতে পারিবে। কিন্তু এক্ষেত্রেও বাস্তব ঘটনা বিপরীত ধরনের সাক্ষ্য প্রদান করে।

এই সমস্ত অসুবিধা দূর করার জন্য বিজ্ঞানী বোর (Bohr) কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্য নেন।

4.4. বোরের পারমাণবিক মডেল বা গঠন কল্প (Bohr's atomic model) : রাদারফোর্ডের পারমাণবিক গঠনকল্পে যে সমস্ত অসুবিধা দেখা দেয় বোর সেই সমস্তগুলির সমাধান কল্পে বিজ্ঞানী প্লাঙ্ক (Planck) প্রবর্তিত কোয়ান্টাম্ মতবাদের সাহায্য গ্রহণ করেন। কোয়ান্টাম মতবাদ অনুসারে যে কোন ধরনের আলোক কিংবা বিকীরণকে অসংখ্য কণিকার সমষ্টি হিসাবে ধরা হয় এবং প্রত্যেকটি কণিকা শক্তির এক একটি ঘনীভূত রূপ হিসাবে দেখা দেয়। এই কণিকাগুলির নাম দেওয়া হয় কোয়ান্টাম্। বিকীরণ তরঙ্গের কম্পাঙ্ক v, প্লাঙ্কের ধ্রুবক h এবং কোয়ান্টামে শক্তির পরিমাণ E হইলে, $E=hv$ হইবে। বোরের পারমাণবিক মডেল নিম্নলিখিত অনুমানের (assumption) উপর প্রতিষ্ঠিত :—

(i) পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া ইলেকট্রন বৃত্তাকার পথে আবর্তিত হইলেও ইলেকট্রনটি মাত্র কতকগুলি নির্দিষ্ট কক্ষপথে ঘুরিতে পারে। এই সমস্ত কক্ষপথগুলিকে **স্থির কক্ষপথ** (stationary orbits) বলা হয়।

(ii) স্থির কক্ষপথে অবস্থিত ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ (Angular momentum) সর্বদাই $\frac{h}{2\pi}$-এর পূর্ণসংখ্যার গুণিতক (Integral multiple) হইবে। স্থির কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘুরিতে থাকিলে সেই অবস্থায় পরমাণু হইতে শক্তির কোন বিকীরণ ঘটিবে না।

ইলেকট্রনের ভর m, কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r, এবং রৈখিক বেগ v হইলে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $= mvr$

দ্বিতীয় অঙ্গীকার অনুযায়ী,

$$mvr=\frac{nh}{2\pi} \text{ যেখানে } n=1, 2, 3, \cdots\cdots$$

পূর্ণসংখ্যাগুলিকে অর্থাৎ 1, 2, 3, ... ইত্যাদিকে প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (Principal quantum number) বলা হয়।

(iii) ইলেকট্রন যতক্ষণ পর্যন্ত কোন স্থির কক্ষপথে থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত কোন শক্তি বিকীরণ করে না। কিন্তু যখন কোন ইলেকট্রন কোন স্থির কক্ষপথ হইতে নিকটতর কোন স্থির কক্ষপথে লাফাইয়া যায় তখন শক্তির বিকীরণ ঘটিবে। বিকীর্ণ শক্তি বিকীরণ কণিকা বা ফোটন হিসাবে নির্গত হইবে। প্রাথমিক স্থির কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি E_2; চূড়ান্ত কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি E_1 হইলে এবং ফোটনের কম্পাঙ্ক v হইলে,

বোরের মতে, $E_2-E_1=hv$

$$\text{বা, } v=\frac{E_2-E_1}{h}$$

E_2-E_1 বেশী হইলে উচ্চ কম্পাঙ্কের বিকীরণ নির্গত হইবে।

হাইড্রোজেন পরমাণুর উপর বোরের তত্ত্ব প্রয়োগ করিয়া বিভিন্ন বর্ণালীর কম্পাঙ্ক গণনা করা হয় এবং দেখা যায় যে পরীক্ষালব্ধ ফলের সহিত আশ্চর্য রকম মিলিয়া যাইতেছে।

বোর মডেলের ত্রুটি ঃ (i) বোরের মতবাদ হাইড্রোজেন বর্ণালীর মোটামুটি-ভাবে ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হয়। কিন্তু ঐ বর্ণালীর সূক্ষ্মাতিসূক্ষ্ম গঠনপ্রণালীর (superfine structure) ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হয় না।

(ii) বোরের মতে ইলেকট্রনের কক্ষপথ বৃত্তাকার। পরবর্তীকালে বিজ্ঞানী সমারফেল্ড (Sommerfeld) বোরের এই তত্ত্বকে পরিমার্জিত করেন। তিনি বলেন যে ইলেকট্রনের কক্ষপথগুলি উপবৃত্তাকারও হইতে পারে এবং তাহারা বিভিন্ন তলেও থাকিতে পারে।

(iii) সূর্যের চারিদিকে নির্দিষ্ট কক্ষপথে ঘুরিবার সময় পৃথিবী নিজের অক্ষের উপরও পাক খায়। অনুরূপভাবে নিউক্লিয়াসের চারিদিকে ঘুরিবার সময় ইলেকট্রন নিজের অক্ষ বরাবরও পাক খাইতে থাকে। বোরের মতবাদে এই সমস্ত ঘটনা ধরা হয় নাই।

এই সমস্ত ত্রুটিগুলিকে দূর করিবার জন্য পরমাণুর ভেক্টর মডেল (Vector atom model)-এর অবতারণা করা হয়।

4.5. পরমাণুর সংগঠন : কোন মৌলিক পদার্থের সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম অংশ যাহা রাসায়নিক পরিবর্তনে অংশ গ্রহণ করিতে পারে তাহাকে **পরমাণু** বলা হয়। ডালটনের মতানুসারে পরমাণু, পদার্থের ক্ষুদ্রতম অংশ ও অবিভাজ্য। কিন্তু পরবর্তীকালে গবেষণার ফলে এই ধারণার পরিবর্তন ঘটিয়াছে। যে কোন পরমাণুতে মূল উপাদান হিসাবে **ইলেকট্রন, প্রোটন** ও **নিউট্রন** বর্তমান থাকে। সমস্ত পদার্থেরই পরমাণুর উপাদান এক, কিন্তু তাহাদের পরিমাণ বিভিন্ন থাকে। কেবলমাত্র হাইড্রোজেন পরমাণুতে কোন নিউট্রন থাকে না।

(i) **ইলেকট্রন** (Electron) : ইলেকট্রন, পরমাণুর সূক্ষ্মতম অংশ। ইহার ভর মাত্র 9.11×10^{-28} গ্রাম, অর্থাৎ হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের 1837 ভাগের এক ভাগ মাত্র। ইলেকট্রনের ভর নগণ্য বলিয়া সাধারণ ক্ষেত্রে উহার ভরকে অগ্রাহ্য করা হইয়া থাকে। ইলেকট্রনগুলি অপরা-তড়িৎযুক্ত এবং উহার তড়িতের পরিমাণ 1.601×10^{-19} কুলম্ব। ইলেকট্রনের তড়িৎ-মাত্রাকে অপরা-তড়িতের একক হিসাবে ধরা হয়। ইলেকট্রনের ভর নগণ্য হইলেও উহা আয়তনে, প্রোটন ও নিউট্রন অপেক্ষা বড়। যে কোন বস্তু হইতে যে কোন ভাবে ইলেকট্রন সংগ্রহ করা হউক না কেন, ইলেকট্রনগুলি একই প্রকৃতির হইবে। সুতরাং সিদ্ধান্ত করা যাইতে পারে যে, যে কোন পরমাণুর সাধারণ উপাদান হিসাবে ইলেকট্রন বর্তমান আছে।

(ii) **প্রোটন** (Proton) : যে কোন পরমাণু সামগ্রিকভাবে তড়িৎ-উদাসীন। কিন্তু পরমাণুর উপাদান হিসাবে অপরা-তড়িৎযুক্ত ইলেকট্রন বর্তমান থাকে। সুতরাং পরমাণুকে তড়িৎ-উদাসীন করার জন্য উহাতে সম-পরিমাণ পরা-বিদ্যুৎ থাকা আবশ্যক। বিজ্ঞানীগণ প্রমাণ করিয়াছেন যে সমস্ত পরমাণুতে একপ্রকার পরা-তড়িৎযুক্ত কণিকা বিদ্যমান থাকে। ইহাদের নাম প্রোটন। প্রোটনের ভর 1.6734×10^{-24} গ্রাম অর্থাৎ ইলেকট্রনের ভর অপেক্ষা প্রায় 1837 গুণ বেশী। কিন্তু প্রোটনের পরা-বিদ্যুতের পরিমাণ ইলেকট্রনের অপরা-বিদ্যুতের সমান। প্রোটনের ভর বেশী হইলেও উহার আয়তন ইলেকট্রনের আয়তন অপেক্ষা অনেক কম। যে কোন পরমাণুতে উপাদান হিসাবে প্রোটন বিদ্যমান থাকে। প্রোটন একটি স্থায়ী প্রকৃতির প্রাথমিক কণা।

(ii) **নিউট্রন** (Neutron) : 1932 খ্রীষ্টাব্দে চ্যাডউইক নিউট্রন আবিষ্কার করেন। ইহা তড়িৎ-নিরপেক্ষ এবং ইহার ভর প্রোটনের ভরের প্রায় সমান। ইলেকট্রনের ভর 1 ধরা হইলে প্রোটনের ভর 1837 ও নিউট্রনের ভর 1839 হইবে। হাইড্রোজেনের পরমাণু ব্যতীত যে কোন পরমাণুতে নিউট্রন বিদ্যমান থাকে।

পরমাণুর উপাদান হিসাবে উল্লিখিত মৌল কণাগুলি ছাড়াও আরও কয়েকটি মূল কণিকা, যথা :—পজিট্রন, মেসন, অ্যান্টি-প্রোটন ইত্যাদি আবিষ্কৃত হইয়াছে। তাহাদের বিষয়ে এখানে আলোচিত হইবে না। সত্যিকথা বলিতে কি পরমাণুর গঠন-রহস্য এখনও বহুলাংশে অজ্ঞাত।

4.6. পরমাণুর মধ্যে মূল কণিকাগুলির বিন্যাস : পরমাণুর মূল উপাদান হিসাবে ইলেকট্রন, প্রোটন বর্তমান থাকে। কিন্তু এই উপাদানগুলি পরমাণুতে কি ভাবে বিন্যস্ত থাকে তাহার বিষয়ে আলোচনা করা প্রয়োজন। পরীক্ষার সাহায্যে জানা যায় যে পরমাণুতে প্রধানতঃ দুইটি অংশ আছে ; যথা, (i) পরা-তড়িৎযুক্ত পরমাণু-কেন্দ্র বা নিউক্লিয়াস এবং (ii) নিউক্লিয়াস বহির্ভূত ইলেকট্রন।

(i) **নিউক্লিয়াস** (Nucleus) : নিউক্লিয়াস, প্রধানতঃ প্রোটন ও নিউট্রনের সমষ্টি দ্বারা গঠিত এবং ইহা প্রত্যেক পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে ঘনীভূত অবস্থায় বর্তমান থাকে। নিউক্লিয়াস পরা-তড়িৎযুক্ত এবং ইহার ব্যাসার্ধ প্রায় 10^{-12} সে.মি.। পরমাণুর সমগ্র আয়তনের এক লক্ষ কোটি ভাগের মাত্র এক ভাগ আয়তন নিউক্লিয়াস দখল করে। সুতরাং, পরমাণুর অধিকাংশ স্থানই শূন্যময়। হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে একটিমাত্র প্রোটন থাকে কিন্তু কোন নিউট্রন থাকে না। কোন পরমাণুর ভর উহার নিউক্লিয়াসে অবস্থিত প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। পরমাণু তড়িৎ-উদাসীন, এইকারণেই পরা-বিদ্যুৎবাহী প্রোটনের সংখ্যা, অপরা-বিদ্যুৎবাহী ইলেকট্রনের সংখ্যার সমান হইবে। সুতরাং কোন পরমাণুতে প্রোটনের সংখ্যা ইলেকট্রনের সংখ্যার সমান। এই সংখ্যাকে **পরমাণু-ক্রমাঙ্ক** বা **পারমাণবিক সংখ্যা** (atomic number) বলা হয়। সুতরাং, **কোন মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যতগুলি প্রোটন থাকে অথবা নিউক্লিয়াসের বাহিরে যতগুলি ইলেকট্রন থাকে তাহাকে ঐ মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বলা হয়।** অক্সিজেনের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 8 বলিতে ইহাই বোঝাইবে যে অক্সিজেনের নিউক্লিয়াসে 8টি প্রোটন আছে এবং নিউক্লিয়াসের বাহিরে 8টি ইলেকট্রন আছে। কোন মৌলের মৌলিকত্ব পরমাণু-ক্রমাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। কোন মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক পরিবর্তিত হইলে ঐ মৌল অন্য মৌলে রূপান্তরিত হইয়া যাইবে। প্রকৃতিতে লঘুতম মৌল হিসাবে হাইড্রোজেন এবং সর্বাপেক্ষা ভারী মৌল হিসাবে ইউরেনিয়াম পাওয়া যায়। হাইড্রোজেনের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক এক। অর্থাৎ নিউক্লিয়াসে একটিমাত্র প্রোটন আছে। কিন্তু ইউরেনিয়ামের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 92। সুতরাং ইউরেনিয়ামের নিউক্লিয়াসে 92টি প্রোটন থাকিবে। অন্যান্য প্রাকৃতিক মৌলগুলির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 1-এর বেশী এবং

92-এর কম হইবে। পর্যায়-সারণীতে (Periodic table) মৌলগুলিকে পরমাণু-ক্রমাঙ্ক অনুসারে সাজান হয়। কোন মৌলিক পদার্থের রাসায়নিক ধর্ম উহার পরমাণু-ক্রমাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। কোন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যদি প্রোটনের সংখ্যা ঠিক থাকে কিন্তু নিউট্রনের সংখ্যার হ্রাসবৃদ্ধি ঘটে তবে উহার পরমাণু-ক্রমাঙ্ক একই থাকিবে কিন্তু ওজনের হ্রাসবৃদ্ধি ঘটিবে। উল্লিখিত ক্ষেত্রে বিভিন্ন ওজনের পরমাণুর রাসায়নিক ধর্ম একই থাকিবে। একই পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বিশিষ্ট বিভিন্ন ওজনের পরমাণু প্রকারকে **একস্থানিক** বা **সমস্থানিক** (Isotopes) বলা হয়। উদাহরণ স্বরূপ নিয়ন গ্যাসের দুই ধরনের পরমাণু পাওয়া যায়। উহাদের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 10 কিন্তু উহাদের পারমাণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে 20 এবং 22 হইয়া থাকে। ইহাদিগকে নিয়নের একস্থানিক বলা হইবে। হাইড্রোজেনের তিনটি একস্থানিক আছে, যথা—হাইড্রোজেন, ডিউটেরিয়াম এবং ট্রিটিয়াম। উহাদের পারমাণবিক সংখ্যা 1 হইলেও ভরসংখ্যা যথাক্রমে 1, 2, 3 হইয়া থাকে। বিভিন্ন মৌলের একস্থানিক থাকিতে পারে। উদাহরণস্বরূপ লিথিয়ামের দুইটি, কার্বনের ছয়টি, অক্সিজেনের আটটি একস্থানিক আছে। কৃত্রিম উপায়েও একস্থানিক প্রস্তুত করা সম্ভব।

কোন মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসে অবস্থিত প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যার যোগফলকে ঐ মৌলের **ভরসংখ্যা** (mass number) বলা হয়। ইহা সাধারণতঃ 'A' দ্বারা সূচিত হয়। মৌলটির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক Z হইলে উহার নিউক্লিয়াসে Z সংখ্যক প্রোটন থাকিবে। সেক্ষেত্রে নিউট্রনের সংখ্যা $(A-Z)$ হইবে। কোন মৌলের পরমাণু X-কে প্রতীকের সাহায্যে $_ZX^A$ হিসাবে প্রকাশিত করিলে বুঝিতে হইবে যে ঐ পরমাণুর ভরসংখ্যা A এবং পারমাণবিক সংখ্যা Z।

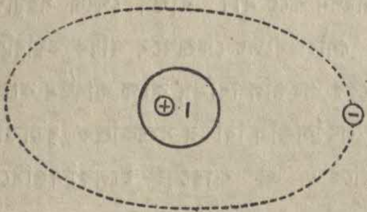
হাইড্রোজেন ব্যতিরেকে যে-কোন পরমাণুর কেন্দ্রে একাধিক সমতড়িৎধর্মী প্রোটন থাকে। প্রোটনগুলি সমতড়িৎধর্মী হওয়ার ফলে তাহারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করিবে। ফলে নিউক্লিয়াস ভাঙ্গিয়া যাওয়া উচিত। কিন্তু সাধারণ ক্ষেত্রে নিউক্লিয়াস ভাঙ্গিয়া যায় না। ইহার কারণ হিসাবে বলা হয় যে, নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনগুলির অবিরত পারস্পরিক রূপান্তর ঘটে। ইহার ফলে উহাদের মধ্যে বিশেষ একপ্রকার আকর্ষণের সৃষ্টি হয় এবং নিউক্লিয়াস স্থায়ী হয়। কিন্তু কোন নিউক্লিয়াসে (যথা ইউরেনিয়াম, থোরিয়াম ইত্যাদি ক্ষেত্রে) প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা খুব বেশী হইলে কেন্দ্রটি অস্থায়ী ও স্বতঃভঙ্গুর হইয়া পড়ে। এই ধরনের ঘটনাকে **তেজস্ক্রিয়তা** (Radio-activity) বলা হয়।

(ii) **নিউক্লিয়াস বহির্ভূত ইলেকট্রন :** সামগ্রিকভাবে পরমাণু তড়িৎ-উদাসীন। সুতরাং নিউক্লিয়াসে যতগুলি প্রোটন থাকিবে পরমাণুতে ততগুলি

ইলেকট্রনকেও থাকিতে হইবে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের বাহিরে থাকে। কিন্তু ইলেকট্রনগুলি গতিহীন অবস্থায় থাকিতে পারে না। কারণ সেক্ষেত্রে নিউক্লিয়াসে ধনাত্মক আধান কর্তৃক ইলেকট্রনগুলি আকর্ষিত হইয়া নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করিবে। ফলে প্রোটন বা ইলেকট্রনের আলাদা অস্তিত্ব থাকিবে না। কিন্তু বাস্তব ঘটনা ইহাকে সমর্থন করে না। বাস্তব ক্ষেত্রে পরমাণুর গঠন-প্রণালী অনেকটা সৌরজগতের মত। সৌরজগতের কেন্দ্রস্থলে অধিক ভরবিশিষ্ট সূর্য থাকে এবং উহার চারিদিকে কম ভরের গ্রহগুলি বিভিন্ন কক্ষে আবর্তন করে। অনুরূপভাবে নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া ইলেকট্রনগুলি বিভিন্ন সমকেন্দ্রিক বৃত্তাকার ও উপবৃত্তাকার (elliptical) কক্ষে ঘুরিতে থাকে। এই কারণেই ইলেকট্রনগুলিকে **কক্ষীয়** (orbital) বা **গ্রহমণ্ডলীয়** (planetary) ইলেকট্রন বলা হয়। প্রত্যেক ইলেকট্রনের গতিপথ বিভিন্ন এবং গতিবেগও অত্যন্ত বেশী, প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 1200 মাইল। নিউক্লিয়াসে ধনাত্মক প্রোটন নিউক্লিয়াস বহির্ভূত ঋণাত্মক ইলেকট্রনকে কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে। ঘূর্ণনের ফলে ইলেকট্রনের মধ্য কেন্দ্রাতিগ বলের সৃষ্টি হয়। আকর্ষণজনিত বল এবং কেন্দ্রাতিগ বল বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে এবং উহারা সমান হইলে ইলেকট্রনটি নির্দিষ্ট কক্ষে ঘুরিতে থাকিবে। পরমাণুতে এইরূপ সাতটি কক্ষপথ আছে। নিউক্লিয়াস হইতে আরম্ভ করিয়া কক্ষগুলিকে যথাক্রমে ; K, L, M, N, N, P, Q অক্ষরগুলি দ্বারা সূচিত করা হয়। সংখ্যার সাহায্যে তাহাদিগকে যথাক্রমে 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়া থাকে। প্রত্যেক কক্ষপথের ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ সংখ্যা নির্দিষ্ট। কক্ষের ক্রমিক-সংখ্যা n হইলে ঐ কক্ষে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ সংখ্যা $2n^2$ হইবে। উদাহরণ স্বরূপ ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ সংখ্যা, প্রথম কক্ষপথে $(n=1)\ 2\times 1^2=2$ হইবে ; দ্বিতীয় কক্ষপথে $(n=2)\ 2\times 2^2=8$ হইবে ; তৃতীয় কক্ষপথে $(n=3)$ $2\times 3^2=18$ হইবে। অনুরূপভাবে অন্যান্য কক্ষপথের ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ সংখ্যা নির্ণয় করা সম্ভব। কোন পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলি কোন্ কোন্ কক্ষে এবং কি ভাবে থাকিবে তাহা ইলেকট্রনের সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। উদাহরণ-স্বরূপ হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটিমাত্র ইলেকট্রন আছে। এই ইলেকট্রনটি প্রথম কক্ষপথে ঘুরিতে থাকিবে। হিলিয়ামের ইলেকট্রন সংখ্যা 2 ; কিন্তু প্রথম কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ সংখ্যা 2 হইতে পারে। সুতরাং 2টি ইলেকট্রনই প্রথম কক্ষপথে ঘুরিতে থাকিবে। কিন্তু লিথিয়াম পরমাণুর ইলেকট্রন সংখ্যা 3, সুতরাং উহার 2-টি ইলেকট্রন প্রথম কক্ষে এবং অবশিষ্ট 1-টি ইলেকট্রন দ্বিতীয় কক্ষে ঘুরিতে থাকিবে।

কার্বন পরমাণুর ইলেকট্রন-সংখ্যা 6 হওয়ায় প্রথমকক্ষে 2-টি এবং বাকী 4-টি ইলেকট্রন দ্বিতীয় কক্ষে ঘুরিতে থাকিবে। নিয়ন পরমাণুর ইলেকট্রন-সংখ্যা 10 হওয়ায় প্রথম এবং দ্বিতীয় কক্ষপথ উভয়েই ইলেকট্রন দ্বারা সংপৃক্ত হইবে।

4.7. কয়েকটি পরিচিত মৌলের পারমাণবিক গঠন :

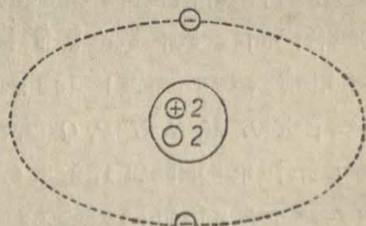


হাইড্রোজেন

চিত্র—4খ

(i) হাইড্রোজেন পরমাণু : পরমাণু-ক্রমাঙ্ক=1 ; প্রোটন সংখ্যা =1 ; পারমাণবিক ভর=1 ; সুতরাং নিউক্লিয়াসে নিউট্রন সংখ্যা =1−1=0 হইবে। ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া প্রথম কক্ষে ঘুরিতে থাকিবে (চিত্র 4 খ)। পরমাণুটিকে প্রতীকের সাহায্যে $_1H^1$ হিসাবে প্রকাশ করা যায়।

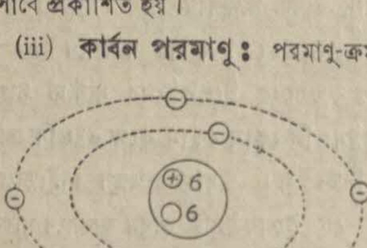
(ii) হিলিয়াম পরমাণু : পরমাণু-ক্রমাঙ্ক=2 ; প্রোটন-সংখ্যা=2 ; পারমাণবিক ভর=4 ; সুতরাং নিউক্লিয়াসে নিউট্রন সংখ্যা=4−2 =2 হইবে। ইলেকট্রন দুইটি নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া প্রথম কক্ষে ঘুরিতে থাকিবে এবং ঐ কক্ষকে সংপৃক্ত করিবে (চিত্র 4 গ)। পরমাণুটি প্রতীকের সাহায্যে $_2He^4$ হিসাবে প্রকাশিত হয়।



হিলিয়াম

চিত্র—4গ

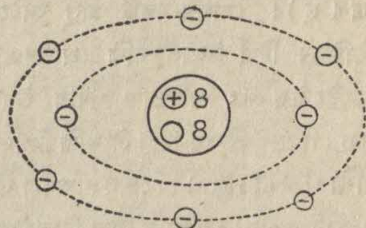
(iii) কার্বন পরমাণু : পরমাণু-ক্রমাঙ্ক=6 ; প্রোটন-সংখ্যা=6 ; ইলেকট্রন সংখ্যা=7 ; পারমাণবিক ভর=12 ; সুতরাং নিউক্লিয়াসে নিউট্রন সংখ্যা =12−6=6 হইবে। নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া ঘূর্ণায়মান 6-টি ইলেকট্রনের মধ্যে 2টি প্রথম কক্ষে এবং বাকী 4টি দ্বিতীয় কক্ষে ঘুরিতে থাকিবে (চিত্র 4 ঘ)। পরমাণুটির প্রতীক $_6C^{12}$. হইবে।



কার্বন

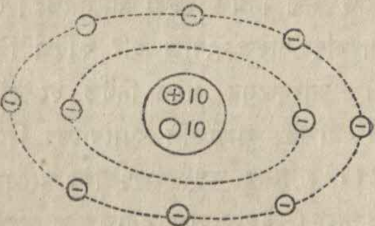
চিত্র—4 ঘ

(iv) **অক্সিজেন পরমাণু :** পরমাণু-ক্রমাঙ্ক=8 ; প্রোটন-সংখ্যা=8 ; ইলেকট্রন-সংখ্যা=8 ; পরমাণবিক ভর=16 ; সুতরাং নিউক্লিয়াসে নিউট্রন-সংখ্যা=16−8=8 হইবে। নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া ঘূর্ণায়মান 8টি ইলেকট্রনের মধ্যে 2-টি প্রথম কক্ষে এবং বাকী 6-টি দ্বিতীয় কক্ষে ঘুরিতে থাকিবে (চিত্র 4 ঙ)। পরমাণুটির প্রতীক হইবে $_{8}O^{16}$.



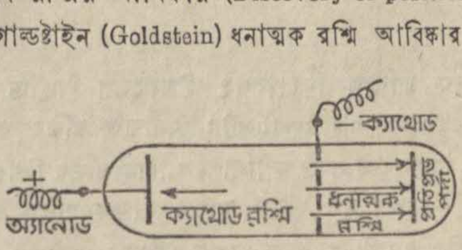
অক্সিজেন
চিত্র—4ঙ

(v) **নিয়ন পরমাণু :** পরমাণু-ক্রমাঙ্ক=10 ; প্রোটন-সংখ্যা=10 ; ইলেকট্রন-সংখ্যা=10 ; যে নিয়ন প্রকৃতিতে খুব বেশী পরিমাণে পাওয়া যায় তাহার পারমাণবিক ভর=20 ; সুতরাং নিউক্লিয়াসে নিউট্রন-সংখ্যা=20−10=10 হইবে। নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া ঘূর্ণায়মান 10-টি ইলেকট্রনের মধ্যে 2-টি প্রথম কক্ষে ও বাকী 8-টি দ্বিতীয় কক্ষে ঘুরিতে থাকিবে এবং প্রথম ও দ্বিতীয় উভয় কক্ষকে সংপৃক্ত করিবে (চিত্র 4 চ)। প্রতীকের সাহায্যে পরমাণুটিকে $_{10}Ne^{20}$ হিসাবে প্রকাশিত করা যায়।



নিয়ন
চিত্র—4 চ

4.8, ধনাত্মক রশ্মির আবিষ্কার (Discovery of positive rays) : 1886 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী গোল্ডষ্টাইন (Goldstein) ধনাত্মক রশ্মি আবিষ্কার করেন। তিনি



চিত্র—4 ছ

তড়িৎ মোক্ষণ-নলের ভিতরে বায়ুর চাপ মোটামুটিভাবে 1 মি.মি. পারদ স্তম্ভের সমান রাখেন এবং ক্যাথোডের পাতে কয়েকটি ছিদ্র করিয়া দেন। ক্যাথোডের পিছন

দিকে কিন্তু অ্যানোডের বিপরীতদিকে জিংক-সালফাইডের একটি প্রতিপ্রভ পর্দা রাখা হয় (চিত্র 4 ছ)। মোক্ষণ-নলটি চালু করিলে তিনি দেখিতে পান যে ক্যাথোড পাতের ভিতর দিয়া উজ্জ্বল রশ্মি স্রোতধারার আকারে ক্যাথোডের পিছন দিকে অগ্রসর হইতেছে এবং প্রতিপ্রভ পর্দার উপর আপতিত হইয়া প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করিতেছে। ছিদ্রের ভিতর দিয়া ঐ রশ্মি নির্গত হয় বলিয়া গোল্ডষ্টাইন উহার নাম দেন **নালী রশ্মি** (canal rays)। চৌম্বক অথবা তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে নালী রশ্মি বিচ্যুত হয়। বিচ্যুতির প্রকৃতি লক্ষ্য করিয়া বিজ্ঞানীরা সিদ্ধান্ত করেন যে নালীরশ্মি প্রকৃত পক্ষে ধনাত্মক তড়িৎ কণার স্রোত ছাড়া আর কিছুই নহে। তখন নালীরশ্মির নামকরণ করা হয় **ধনাত্মক রশ্মি**।

ধনাত্মক রশ্মির উৎপত্তির কারণ হিসাবে বলা যায় যে ক্ষারণ নলে তড়িৎ মোক্ষণের সময় ক্যাথোড হইতে ক্যাথোড রশ্মি নির্গত হইয়া অ্যানোডের দিকে যাইতে থাকে এবং পথিমধ্যে গ্যাসের অণু-পরমাণুর সহিত সংঘাত সৃষ্টি করিয়া কিছু সংখ্যক অণু-পরমাণুকে আয়নিত করে। আয়নয়নের ফলে নির্গত ইলেকট্রন অ্যানোডের দিকে যায় এবং অণু-পরমাণুর ধনাত্মক আয়নগুলি ক্যাথোডের দিকে ধাবিত হইয়া ধনাত্মক রশ্মির সৃষ্টি করে। গ্যাসের অণু-পরমাণুগুলির আয়নয়ন মোক্ষণ নলের বিভিন্ন দূরত্বে সংঘটিত হইতে পারে। ইহার ফলে ধনাত্মক আয়নগুলি যখন ক্যাথোডে আসিয়া পেঁছায় তখন অতিক্রান্ত দূরত্ব বিভিন্ন বলিয়া তাহাদের গতিবেগ বিভিন্ন হইয়া থাকে। আবার, বিভিন্ন গ্যাসের অণু-পরমাণুর ভর বিভিন্ন বলিয়া বিভিন্ন গ্যাসের ধনাত্মক রশ্মির গতিবেগ বিভিন্ন হইবে। তাছাড়া ধাক্কার জন্য অণু-পরমাণুগুলি হইতে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্যুত হইতে পারে। ইহার ফলে আয়নগুলির ধনাত্মক আধানের পরিমাণ বিভিন্ন হইবে এবং তাহাদের গতিবেগও বিভিন্ন হইবে।

4.9. **ধনাত্মক রশ্মির বিশ্লেষণঃ টমসনের পদ্ধতি** (Analysis of positive rays : Thomson's method) : ধনাত্মক রশ্মির কণাগুলি ধনাত্মক আধানে আহিত। টমসন এই সমস্ত কণাগুলির আধান ও ভর নির্ণয় করিবার পদ্ধতি আবিষ্কার করেন। মোক্ষণ নল হইতে আগত ধনাত্মক রশ্মির উপর একই স্থানে এবং একই সঙ্গে তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রয়োগ করিলে আয়নগুলি প্রাথমিক গতিপথ হইতে বিচ্যুত হইবে। আমরা জানি আয়নগুলির গতিবেগ বিভিন্ন হইয়া থাকে এবং এই কারণেই বিচ্যুতির পরিমাণও বিভিন্ন হয়। বিচ্যুত কণাগুলি ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর বিভিন্ন বিন্দুতে আপতিত হইয়া দাগের সৃষ্টি করে। প্রমাণ

করা যায় যে আধান নির্দিষ্ট থাকিলে অভিন্ন ভরের বিভিন্ন আয়নগুলি ফটোগ্রাফি প্লেটের উপর অধিবৃত্তের (parabola) আকারে ছড়াইয়া পড়িবে। বিভিন্ন ভরের আয়ন বিভিন্ন অধিবৃত্তের সৃষ্টি করিবে। হাইড্রোজেনের জন্য যে অধিবৃত্ত পাওয়া যায় তাহার সাপেক্ষে অন্য কোন মৌলের জন্য উৎপন্ন অধিবৃত্তের বিচার করিয়া মৌলটির ভর নির্ণয় করা হয়। টমসন লক্ষ্য করেন যে নিয়ন গ্যাস দুইটি অধিবৃত্ত সৃষ্টি করে এবং গণনা করিয়া দেখেন যে উজ্জ্বল অধিবৃত্তটির জন্য নিয়ন পরমাণুর ভর 20 এবং অন্যটির জন্য নিয়ন পরমাণুর ভর 22 হইতেছে। তিনি আরও লক্ষ্য করেন যে অধিবৃত্ত দুইটির আপেক্ষিক ঔজ্জ্বল্য 9 : 1 হইতেছে। সুতরাং নিয়নের গড় পারমাণবিক ভর

$$=\frac{20\times9+22\times1}{9+1}=20{\cdot}2.$$

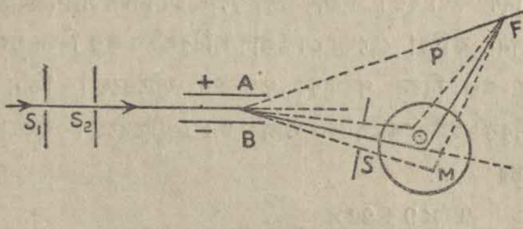
রাসায়নিক পদ্ধতিতে নিয়নের পারমাণবিক ভর নির্ণয় করিলেও 20·2 পাওয়া যায়। কিন্তু সেক্ষেত্রে আমরা নিয়নের একস্থানিকের কথা জানিতে পারি না।

টমসন পদ্ধতিতে যে সমস্ত অধিবৃত্ত গঠিত হয় তাহারা খুব স্পষ্ট হয় না। আরও কয়েকটি অসুবিধার জন্য পারমাণবিক ভর নির্ণয়ের জন্য টমসনের পদ্ধতি অপেক্ষা অ্যাষ্টনের পদ্ধতি আরও বেশী উপযোগী।

4.10. অ্যাষ্টনের ভর-বর্ণালী বীক্ষণ যন্ত্র (Aston's mass spectrograph) : বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর ভর নির্ণয় এবং ধনাত্মক রশ্মি বিশ্লেষণের জন্য অ্যাষ্টনের ভর-বর্ণালী বীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। ধনাত্মক রশ্মির কোন কণার ভর M এবং আধান e হইলে উহার আপেক্ষিক আধান (specific charge) e/M হইবে। যে সমস্ত আয়নের আপেক্ষিক আধান (e/M) অভিন্ন, সেই সমস্ত আয়নগুলি যন্ত্রটির ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর একটি নির্দিষ্ট রেখার সৃষ্টি করিবে। আপেক্ষিক আধান বিভিন্ন হইলে আয়নগুলি বিভিন্ন রেখা উৎপন্ন করিবে। যদি বিভিন্ন আয়নে আধানের পরিমাণ সমান হয় তাহা হইলে বিভিন্ন ভরবিশিষ্ট আয়নের জন্য ফটোগ্রাফিক প্লেটে বিভিন্ন রেখা পাওয়া যাইবে। আলোকীয় বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রে বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক বিভিন্ন রেখা বর্ণালীর সৃষ্টি করে। অনুরূপভাবে অ্যাষ্টনের যন্ত্রে বা ঐ জাতীয় যন্ত্রে বিভিন্ন ভরের আয়ন ফটোগ্রাফির প্লেটে ভিন্ন ভিন্ন রেখার সৃষ্টি করে বলিয়া এই সমস্ত যন্ত্রকে ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র বলা হয়।

4জ নং চিত্রে অ্যাষ্টনের ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের একটি নক্‌সা দেখানো হইল। তড়িৎ-মোক্ষণ নল হইতে (চিত্রে দেখানো হয় নাই) ধনাত্মক রশ্মিকে S_1 ও

S_2 দুইটি ছিদ্রের (slit) ভিতর দিয়া পাঠাইয়া সরু রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করা হয়। A ও B দুইটি সমান্তরাল পাত, এবং তাহাদিগকে যথাক্রমে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিভবের সহিত যুক্ত করিলে পাতদুইটির মধ্যে একটি তড়িৎ-ক্ষেত্রের সৃষ্টি হইবে। ধনাত্মক রশ্মি তড়িৎ-ক্ষেত্রের ভিতর যাইবার সময় ঋণাত্মক পাতের অভিমুখে

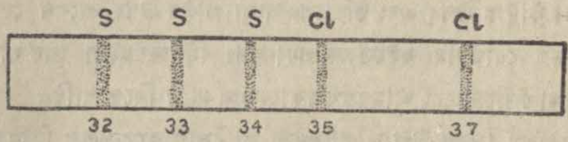


চিত্র—4 জ

বিচ্যুত হইবে। বিভিন্ন আয়নের বেগ বিভিন্ন বলিয়া বিচ্যুতির পরিমাণ বিভিন্ন হইবে। যে সমস্ত আয়নের বেগ অপেক্ষাকৃতভাবে কম তাহারা বেশীক্ষণ তড়িৎ ক্ষেত্রে থাকিবে বলিয়া তাহাদের বিচ্যুতির পরিমাণ বেশী হইবে। আয়নের গতিবেগ বেশী হইলে অনুরূপ কারণেই তাহাদের বিচ্যুতি কম হইবে। বিভিন্ন পরিমাণ বিচ্যুতির জন্য রশ্মিগুলি ছড়াইয়া পড়িবে। এই কারণে তাহাদিগের গতিপথে আর একটি ছিদ্র (S) রাখা হয়। ইহার ফলে তাহারা পুনরায় একটি সরু রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় এবং চৌম্বক ক্ষেত্রে (M অঞ্চলে) প্রবেশ করে। প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ এবং বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের অভিমুখ পরস্পর সমকোণে থাকে। তাছাড়া চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক ও মান এমনভাবে নির্দিষ্ট করা হয় যে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে আয়নগুলির যেদিকে বিচ্যুতি ঘটে চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য তাহাদের বিচ্যুতি বিপরীত দিকে ঘটিবে এবং অবশেষে অভিন্ন আপেক্ষিক আধান বিশিষ্ট আয়নগুলি একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে (F) মিলিত হইবে। ঐস্থানে ফটোগ্রাফিক প্লেট (P) রাখিলে লম্বা ছিদ্রের জন্য (linear slit) ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর একটি রেখা পাওয়া যাইবে। বিভিন্ন আপেক্ষিক আধানগুলি ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর ভিন্ন ভিন্ন রেখার সৃষ্টি করিবে। কোন জানা মৌলের আয়ন যে রেখা সৃষ্টি করে তাহার সহিত তুলনা করিয়া আজানা আয়নের ভর নির্ণয় করা যায়। এই যন্ত্রে শক্তিশালী তড়িচ্চুম্বকের সাহায্যে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি করা হয়।

অ্যাস্টন এই যন্ত্রের সাহায্যে বহু মৌলের একস্থানিকের ভর নির্ণয় করেন। 4ঝ নং চিত্রে ক্লোরিন এবং সালফার পরমাণু অ্যাস্টন যন্ত্রের ফটোগ্রাফিক প্লেটে যেরূপ

রেখার সৃষ্টি করে তাহা দেখানো হইয়াছে। চিত্র হইতে দেখা যায় যে ক্লোরিনের দুইটি এবং সালফারের তিনটি একস্থানিক আছে।



চিত্র—4 ঝ

টমসন তাঁহার বর্ণালী বীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে নিয়নের দুইটি একস্থানিক আবিষ্কার করেন। অ্যাস্টনের পরীক্ষায় সেই আবিষ্কারের যথার্থতা পুনরায় প্রমাণিত হয়।

পরবর্তীকালে ডেম্পষ্টার, বেনব্রিজ, নায়ার প্রভৃতি বিজ্ঞানীরা আরও উন্নতমানের ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করিয়াছেন।

4.11. প্রতিপ্রভা ও অনুপ্রভা (Fluorescence and Phosphorescence) : কতকগুলি পদার্থের উপর যদি উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো আপতিত করা হয় তাহা হইলে দেখা যায় যে ঐ পদার্থগুলি হইতে অন্য বর্ণের আলোক নিঃসৃত হয়। এই ঘটনাকে **দীপ্তিপ্রভা** (Luminiscence) বলা হয়। দীপ্তিপ্রভাকে যথাক্রমে দুইভাগে ভাগ করা হয় ; যথা—**প্রতিপ্রভা** ও **অনুপ্রভা**।

প্রতিপ্রভা : এমন কতকগুলি পদার্থ আছে যাহাদের উপর নির্দিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক আপতিত হইলে পদার্থগুলি উত্তেজিত হইয়া বৃহত্তর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক বিকীর্ণ করে। যতক্ষণ পর্যন্ত বাহিরের আলোক পদার্থগুলির উপর আপতিত থাকিবে, ততক্ষণ পর্যন্তই আলোকের নিঃসরণ চলিতে থাকিবে। এই ধরনের ঘটনাকে **প্রতিপ্রভা** বলা হয়, এবং পদার্থগুলিকে **প্রতিপ্রভ** বলা হইয়া থাকে। উদাহরণ স্বরূপ কুইনাইন সালফেটের দ্রবণকে সূর্যালোকে রাখিলে দ্রবণটিকে নীলাভ দেখায়। প্রতিপ্রভ বস্তুর উদাহরণ হিসাবে ফ্লোরস্পার, বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড, জিঙ্ক সালফাইড্ ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। উপযুক্ত ধরনের প্রতিপ্রভ পদার্থের সাহায্যে আমাদের চোখে যে সমস্ত আলো অদৃশ্য সেই আলোককে দৃশ্য-আলোকে পরিণত করা যায়। উদাহরণ হিসাবে ফ্লুরেসেন্ট বাতির নাম করা যাইতে পারে। এই ধরনের বাতিতে সামান্য পরিমাণ পারদ বাষ্প থাকে এবং বাতিটির ভিতরের দিকে প্রতিপ্রভ পদার্থের প্রলেপ দেওয়া থাকে। তড়িৎ-মোক্ষণের ফলে পারদ বাষ্পের জন্য অতি বেগুনী রশ্মি নির্গত হয়। অতিবেগুনী রশ্মি আমাদের চোখে অদৃশ্য কিন্তু প্রতিপ্রভ প্রলেপ উহাকে দৃশ্য আলোকে রূপান্তরিত করে। ঘড়ির

ডায়ালে রেডিয়াম দেওয়া থাকিলে আমরা অন্ধকারেও সময় জানিতে পারি। এই সমস্ত ক্ষেত্রে রেডিয়ামের কোন যৌগকে প্রতিপ্রভ জিঙ্ক সালফাইড যৌগের সহিত মিশাইয়া ঘড়ির কাঁটার উপর এবং ডায়ালের সংখ্যাগুলির উপর প্রলেপ দেওয়া হয়। তেজস্ক্রিয়ার জন্য রেডিয়াম হইতে আলফা-কণা নির্গত হইয়া জিঙ্ক সালফাইডকে প্রতিপ্রভ করিয়া তোলে এবং আমরা অন্ধকারেও সময় জানিতে পারি।

বিজ্ঞানী ষ্টোকস্ 1852 খ্রীষ্টাব্দে প্রতিপ্রভা আবিষ্কার করেন এবং তিনি এই বিষয়ে অনেক গবেষণা করেন। বিকীরণের সনাতন মতবাদ (Classical Theory) প্রয়োগ করিয়া প্রতিপ্রভার ব্যাখ্যা দেওয়া যায় না, কিন্তু কোয়ান্টাম মতবাদের সাহায্যে প্রতিপ্রভার ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব। প্রতিপ্রভার জন্য নিঃসৃত আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য আপতিত আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশী হইবে। প্রতিপ্রভা বিষয়ে গবেষণা করিবার সময় বিজ্ঞানী সি. ভি. রমন্ "রমন ইফেক্ট" আবিষ্কার করেন।

অনুপ্রভা: এমন কতকগুলি পদার্থ আছে যাহাদিগকে কিছুক্ষণ আলোতে রাখিয়া পরে অন্ধকারে লইয়া যাইলেও পদার্থগুলি কিছুক্ষণ আলো দিতে থাকে। এই ধরনের ঘটনাকে **অনুপ্রভা** বলা হয়। অনুপ্রভার স্থায়িত্ব কয়েক সেকেণ্ড হইতে কয়েক ঘণ্টা পর্যন্ত হইতে পারে এবং এই স্থায়িত্বের পরিমাণ অনুপ্রভ পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। অনুপ্রভের উদাহরণ হিসাবে ক্যালসিয়াম সালফাইড, বেরিয়াম সালফাইড্, ইউরেনিয়ামের লবণ, হীরা ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। অনুপ্রভ পদার্থের উপর আলো আপতিত হইলে উহার অণুগুলি উত্তেজিত অবস্থা লাভ করে। আপতিত আলোককে সরাইয়া লইলেও পদার্থের অণুগুলি সঙ্গে সঙ্গে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে না বলিয়াই অনুপ্রভার সৃষ্টি হয়। অনুপ্রভার জন্য নিঃসৃত আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য আপতিত আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশী হইবে। অনুপ্রভ বস্তুকে গরম করিলে অনুপ্রভার মাত্রা বাড়ে কিন্তু স্থায়িত্ব কমিয়া যায়। অন্ধকারে ফস্ফরাস জ্বলিতেছে বলিয়া মনে হয়। ইহা ফস্ফরাসের মৃদু দহনের জন্য ঘটিয়া থাকে। অনেকে ইহাকে অনুপ্রভা ভাবিয়া ভুল করেন। রাত্রিবেলায় জোনাকী বা কতকগুলি সামুদ্রিক প্রাণীর শরীর হইতে আলোক নির্গত হয়। ইহা অনুপ্রভার জন্য ঘটে না। এই আলো প্রাণীগুলির শরীরের নিজস্ব দীপ্তি।

4.12. পরিবাহী, অন্তরক এবং অর্ধপরিবাহী (Conductor, insulator and semi-conductor): যে সমস্ত পদার্থের ভিতর দিয়া খুব সহজেই তড়িৎ প্রবাহিত হইতে পারে তাহাদিগকে **পরিবাহী** বলা হয়। পরিবাহী বস্তুর উদাহরণ হিসাবে তামা, সোনা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। কিন্তু

যে সকল পদার্থের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইতে পারে না তাহাদিগকে **অন্তরক** বলা হয়। হীরা, কোয়ার্টস্, অভ্র, গন্ধক ইত্যাদি অন্তরক বস্তু। আবার এমন কতকগুলি পদার্থ আছে যাহাদের তড়িৎ পরিবহনের ক্ষমতা পরিবাহী এবং অন্তরক পদার্থের মাঝামাঝি, তাহাদিগকে **অর্ধপরিবাহী** বলে। বিশেষ বিশেষ অর্ধপরিবাহী পদার্থে তাপ শক্তি অথবা আলোক শক্তি প্রয়োগ করিলে অথবা তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে তাহাদের পরিবাহিতা বাড়িয়া যায়। আবার কতকগুলি অর্ধপরিবাহী নির্দিষ্ট ধরনের অপদ্রব্যের উপস্থিতিতে তড়িতের সুপরিবাহী হইয়া উঠে। ইলেকট্রনিকস্ বিজ্ঞানে সাধারণত এই সমস্ত পদার্থগুলিকে অর্ধপরিবাহী বা সেমি-কনডাক্টার বলা হয়। অপদ্রব্য প্রয়োগের ফলে অর্ধপরিবাহীতে ঋণাত্মক আধানের পরিমাণ বাড়িয়া যাইতে পারে অথবা কমিয়া যাইতে পারে। যে সমস্ত ক্ষেত্রে ইলেকট্রন সংখ্যা হ্রাসের জন্য ধনাত্মক আধান বাড়িয়া যায় সেই সমস্ত অর্ধপরিবাহীকে p-জাতীয় (p-type) বলা হয়। ইহাদিগকে **গৃহীতা** (acceptor) বা **সংগ্রাহক** (collector) নামেও অভিহিত করা হয়। যে সমস্ত অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধির জন্য ঋণাত্মক আধানের সৃষ্টি হয় তাহাদিগকে **n-জাতীয়** (n-type) বলা হয়। n-জাতীয় অর্ধপরিবাহীকে **দাতা** (donor) বা **নিঃসরক** (emitter) নামেও অভিহিত করা হয়। ইংরাজী positive ও negative-এর আদ্যক্ষর p এবং n হইতে যথাক্রমে p-জাতীয় ও n-জাতীয় অর্ধপরিবাহীর নামকরণ করা হইয়াছে।

অর্ধপরিবাহী পদার্থ হিসাবে জারমেনিয়াম্-এর নাম করা যাইতে পারে। বিশুদ্ধ জারমেনিয়াম্ এমনভাবে গঠিত যে উহাতে কোন মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না। এই কারণেই বস্তুটি তড়িতের অপরিবাহী। কিন্তু জারমেনিয়ামের ভিতরে অপদ্রব্য হিসাবে খুব সামান্য পরিমাণ ইণ্ডিয়াম্ ঢুকাইয়া দিলে পদার্থ টি পরিবাহী হইয়া উঠে। জারমেনিয়ামের ভিতরে যোজ্য ইলেক্‌ট্রনের (valence electron) সংখ্যা চার এবং ইণ্ডিয়ামের ক্ষেত্রে তিন হইয়া থাকে। কাজেই ইণ্ডিয়াম পরমাণু জারমেনিয়ামের সহিত যে সহ-গ্রন্থি (covalent bond) স্থাপন করে তাহাতে একটি **অপূর্ণ স্থান** বা **গর্ত** (hole) থাকিয়া যায়। এই গর্ত বন্ধ বা ভর্তি করিবার জন্য পাশ হইতে একটি ইলেকট্রন চলিয়া আসে এবং ইলেক্‌ট্রনটি আসার জন্য প্রথম গর্তটি পূর্ণ হইলেও ইলেক্‌ট্রনটি চলিয়া আসার জন্য সেই স্থানে একটি গর্ত রাখিয়া আসে। সেই গর্ত পূর্ণ করিবার জন্য পার্শ্ববর্তী স্থান হইতে আর একটি ইলেক্‌ট্রন আসিয়া পড়ে এবং পর পর এই ঘটনা চলিতে থাকে। সুতরাং, একদিকে ইলেক্‌ট্রনগুলি গর্তগুলিকে পূর্ণ করিতে করিতে আগাইয়া চলে এবং অপরদিকে সঙ্গে সঙ্গে যে সমস্ত নূতন গর্তের সৃষ্টি হয় সেই

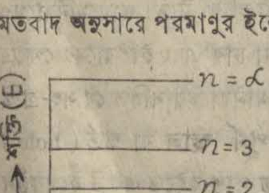
গর্তগুলি ইলেক্‌ট্রনের গতির ঠিক বিপরীত দিকে চলিতে থাকে। ইলেকট্রনের ঘাটতির জন্য গর্তের সৃষ্টি হয় বলিয়া গর্তগুলি ধনাত্মক তড়িৎ কণার মত আচরণ করে। সুতরাং গর্তের এই প্রবাহকে ধনাত্মক আধানের প্রবাহ হিসাবে ধরা যাইতে পারে। এই ধরনের অর্ধপরিবাহীকে p-জাতীয় (p-type) অর্ধপরিবাহী বলা হয়। ইণ্ডিয়াম্ মেশানো জারমেনিয়াম কেলাসে তড়িৎ প্রভব প্রয়োগ করিলে গর্তগুলি পূর্ণ করিতে করিতে ইলেক্‌ট্রন অ্যানোডের দিকে এবং গর্তগুলি ক্যাথোডের দিকে চলিতে থাকিবে এবং তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করিবে।

আর্সেনিকের পাঁচটি যোজ্য ইলেক্‌ট্রন (valence electron) থাকে। জারমেনিয়ামের ভিতর অপদ্রব্য হিসাবে আর্সেনিক ঢুকাইলে আর্সেনিকের পাঁচটি ইলেকট্রনের মধ্যে চারটি ইলেক্‌ট্রন প্রতিবেশী পরমাণুর সহিত সহগ্রন্থী স্থাপন করে এবং পঞ্চম ইলেকট্রনটি কেলাসের ভিতর দিয়া পরমাণু হইতে পরমাণুতে খুব সহজেই চলাচল করিতে পারে। এই ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহের ব্যাপারে ইলেকট্রনের ভূমিকাই মুখ্য। এই কারণেই জারমেনিয়ামের সহিত খুব সামান্য পরিমাণে আর্সেনিক মিশাইলে n-জাতীয় (n-type) অর্ধপরিবাহীর উদ্ভব ঘটে।

বিশুদ্ধ পদার্থে যে অপদ্রব্য মেশানো হয় তাহার পরিমাণ খুব কম হইয়া থাকে (সাধারণত এক কোটি ভাগে এক ভাগ)।

পরিবাহী, অন্তরক এবং অর্ধপরিবাহী বিষয় ঠিক ঠিক জানিতে হইলে কঠিনের পটিতত্ত্ব (Band theory of solids) বিষয়ে জ্ঞান থাকা প্রয়োজন। আমরা খুব সংক্ষেপে ইহা আলোচনা করিব।

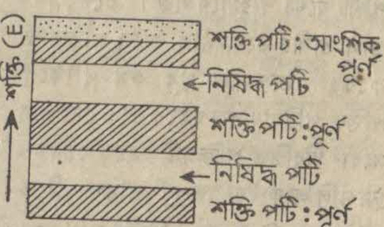
4.13. কঠিন পদার্থের শক্তিপটি (Energy bands in solids) : বোরের মতবাদ অনুসারে পরমাণুর ইলেকট্রন যে কোন কক্ষপথে ঘুরিতে পারে না। পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি কেবলমাত্র কতকগুলি অনুমোদিত কক্ষপথে আবর্তিত হইতে পারে। অনুমোদিত কক্ষপথের প্রত্যেকটির জন্য শক্তি নির্দিষ্ট থাকে। সুতরাং বিভিন্ন অনুমোদিত কক্ষে ইলেকট্রন থাকিলে পরমাণুর কতকগুলি বিচ্ছিন্ন শক্তি তল (energy level) থাকিবে (চিত্র 4 এ)। এই শক্তিতলগুলি পরস্পর নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থিত থাকে। কিন্তু অনেকগুলি পরমাণু একত্রিত হইয়া কঠিন পদার্থের কেলাস গঠিত করে। সেক্ষেত্রে পরমাণুগুলি খুব কাছাকাছি থাকে বলিয়া বিভিন্ন পরমাণুর বাইরের ইলেকট্রনগুলি



চিত্র—4এ

পরস্পর পরস্পরকে প্রভাবিত করে। এই কারণেই ইলেকট্রনের এককভাবে নির্দিষ্ট শক্তিতল থাকিলেও কেলাসিত পদার্থের ক্ষেত্রে ইলেকট্রনগুলির এই ধরনের কোন শক্তিতল থাকিবে না। তত্ত্বগতভাবে প্রমাণ করা যায় যে কেলাসিত কঠিন পদার্থে কতকগুলি শক্তিস্তর বা **শক্তিপটি** (energy bands) বিদ্যমান থাকে। অসংখ্য শক্তিতল খুব কাছাকাছি অবস্থিত থাকিয়া এক একটি শক্তিপটি গঠন করে এবং বিভিন্ন ইলেকট্রনগুলি শক্তিপটির অন্তর্গত নির্দিষ্ট শক্তিতলে অবস্থিত থাকে। পরমাণুর ক্ষেত্রে বিভিন্ন শক্তিতলগুলি যেমন পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন, অনুরূপভাবে কঠিনের ক্ষেত্রে পরপর দুইটি শক্তিপটির মধ্যে ব্যবধান বা ফাঁক থাকে। এই সমস্ত ব্যবধান বা ফাঁককে **নিষিদ্ধ পটি** (forbidden band) বলা হয়। পরমাণুতে ইলেকট্রন যেমন দুইটি অনুমোদিত কক্ষের মাঝখানে থাকিতে পারে না অনুরূপ ভাবে কঠিন পদার্থের ইলেকট্রনগুলি নিষিদ্ধ পটিতে অবস্থান করিতে পারিবে না। বিভিন্ন শক্তি পটির গঠনের প্রকৃতি এবং পটিগুলি কি ভাবে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে তাহার উপর কঠিন পদার্থের পরিবাহিতা নির্ভরশীল।

পরিবাহী পদার্থঃ পরিবাহী পদার্থের শক্তিপটিগুলি কি ধরনের হইয়া থাকে তাহা মোটামুটি ভাবে দেখান হইল (চিত্র 4 ট)। স্পষ্টতঃই দুইটি সন্নিহিত শক্তিপটির মধ্যবর্তী স্থানে একটি নিষিদ্ধ পটি অবস্থিত থাকিবে। আলোচিত ক্ষেত্রে নীচের সর্বনিম্ন শক্তিপটি দুইটি ইলেকট্রন দ্বারা পরিপূর্ণ, কিন্তু উপরের পটিটি ইলেক্ট্রন দ্বারা আংশিক ভাবে পূর্ণ আছে। উপরের পটিতে অনেকগুলি শক্তিতল অপূর্ণ থাকে বলিয়া পদার্থটিতে

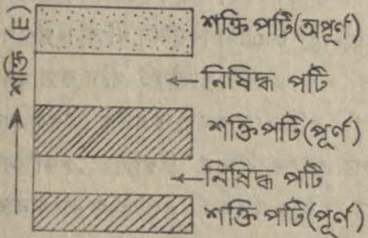


চিত্র—4ট

তড়িৎক্ষেত্র প্রযুক্ত হইলে আংশিকপূর্ণ পটিতে অবস্থিত ইলেকট্রনগুলি শক্তি সংগ্রহ করিয়া উচ্চতর অপূর্ণ শক্তিতলগুলিতে চলিয়া যাইবে এবং তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করিবে। যেহেতু আংশিক পূর্ণ পটিতে অবস্থিত শক্তিতলগুলি খুব কাছাকাছি থাকে সেইজন্য অল্প মানের বিভব-প্রভেদ প্রযুক্ত হইলেও উপরের পটির ইলেকট্রনগুলি সহজেই গতিশীল হইয়া তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করে। এই ধরনের পদার্থকে পরিবাহী পদার্থ বলা হয়।

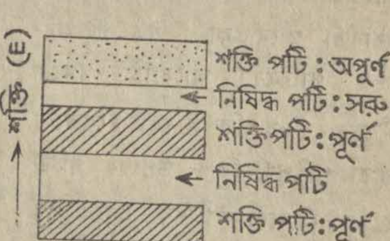
অন্তরক পদার্থঃ 4ঠ নং চিত্রে অন্তরক পদার্থের শক্তি পটির গঠন দেখান হইল। এই সমস্ত ক্ষেত্রে উপরের শক্তিপটিতে কোন ইলেকট্রন থাকে না এবং অন্ত

শক্তিপটিগুলি পরিপূর্ণ ভাবে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে। উপরের অপূর্ণ শক্তিপটি এবং তাহার নীচে অবস্থিত শক্তিপটির মধ্যে নিষিদ্ধ পটি অবস্থিত এবং ইহা যথেষ্ট পরিমাণে চওড়া। মধ্যে অবস্থিত ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ শক্তিপটি হইতে উপরের অপূর্ণ শক্তিপটিতে যাইতে হইলে ইলেকট্রনগুলিকে প্রচুর পরিমাণে শক্তি সংগ্রহ করিতে হইবে। কিন্তু সাধারণ ভাবে পদার্থকে উত্তপ্ত করিয়া অথবা পদার্থটির উপর তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োগ করিয়া ইলেকট্রনগুলিকে উপযুক্ত পরিমাণ শক্তি যোগান দেওয়া সম্ভব হইয়া উঠে না। এই কারণে এই সমস্ত পদার্থ তাপ কিংবা তড়িৎ পরিবহন করিতে পারে না এবং এই পদার্থগুলিকে অন্তরক পদার্থ বলা হয়।



চিত্র—4ঠ

অর্ধপরিবাহী পদার্থঃ 4ড নং চিত্রে অর্ধপরিবাহী পদার্থের শক্তিপটির গঠন দেখান হইল। অর্ধপরিবাহী পদার্থের শক্তিপটির গঠন মোটামুটি ভাবে অপরিবাহী পদার্থের শক্তিপটির গঠনের অনুরূপ হইলেও অপূর্ণ শক্তিপটির নীচে অবস্থিত নিষিদ্ধ পটিটি যথেষ্ট পরিমাণে সরু। ইলেকট্রন-গুলি তাপীয় উত্তেজনার ফলে শক্তিলাভ করে। তাপমাত্রা খুব কম থাকিলে শক্তির পরিমাণ কম হইবে এবং সেক্ষেত্রে মধ্যে অবস্থিত শক্তিপটি হইতে ইলেক-ট্রনগুলি লাফাইয়া অপূর্ণ শক্তি পটিতে যাইতে পারিবে না। কিন্তু তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে ইলেকট্রনগুলি অপূর্ণ শক্তি-পটিতে যাইতে পারিবে। সেই অবস্থায় পদার্থটিতে বিভব-পার্থক্য প্রয়োগ করিলে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন গতিশীল হইয়া তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করিবে। এই সমস্ত পদার্থকে অর্ধপরিবাহী বলা হয়।

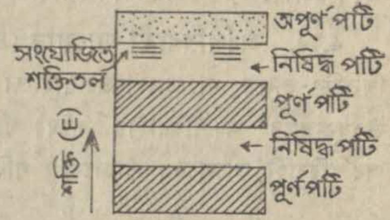


চিত্র—4ড

অর্ধপরিবাহী পদার্থে সামান্য পরিমাণে উপযুক্ত ধরনের অপদ্রব্য মিশাইয়া n-জাতীয় (n-type) এবং p-জাতীয় (p-type) অর্ধপরিবাহী তৈয়ারী করা হয়।

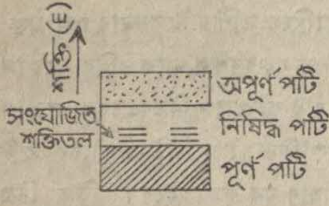
n-জাতীয় অর্ধপরিবাহীঃ জারমেনিয়াম কেলাসের ভিতর অপদ্রব্য হিসাবে আর্সেনিক ঢুকাইলে, আর্সেনিকের পাঁচটি ইলেকট্রনের মধ্যে চারটি ইলেকট্রন প্রতিবেশী পরমাণুর সহিত সহগ্রন্থী স্থাপন করে এবং পঞ্চম ইলেকট্রনটি আর্সেনিক পরমাণু হইতে

সহজে বিচ্ছিন্ন হইয়া পড়ে। 4 চ নং চিত্রে জারমেনিয়ামের শক্তিপটির গঠন দেখান হইয়াছে। আর্সেনিক হইতে বিচ্ছিন্ন ইলেকট্রনগুলি অপূর্ণ পটির নীচে নিষিদ্ধ পটির মধ্যে কতকগুলি শক্তিতল সংযোজিত করিবে। এই সমস্ত শক্তিতলগুলিতে ইলেকট্রন থাকিতে পারে এবং সেই ইলেকট্রনগুলি তাপীয় উত্তেজনা লাভ করিলেই সহজেই অপূর্ণ পটিতে চলিয়া যাইতে পারিবে। ইহার ফলে জারমেনিয়ামে আর্সেনিক অপদ্রব্য হিসাবে থাকিলে বিদ্যুৎ পরিবাহিতা যথেষ্ট পরিমাণে বাড়িয়া যাইবে। এই জাতীয় অর্ধপরিবাহীকে *n*-জাতীয় অর্ধপরিবাহী বলা হয়।



চিত্র—4চ

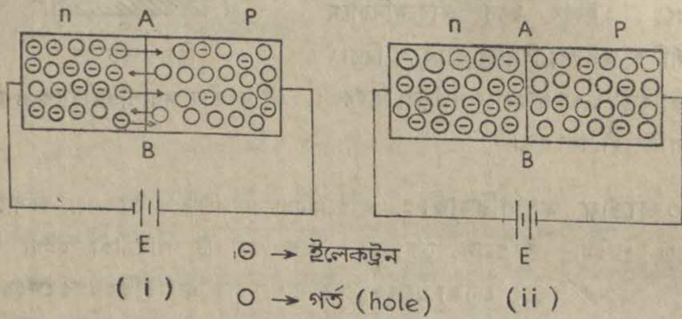
***p*-জাতীয় অর্ধপরিবাহী :** জারমেনিয়ামের ভিতরে অপদ্রব্য হিসাবে খুব সামান্য পরিমাণ ইণ্ডিয়াম ঢুকাইয়া দিলে পদার্থটি পরিবাহী হইয়া উঠে। জারমেনিয়ামের ভিতরে যোজ্য ইলেকট্রনের সংখ্যা চার এবং ইণ্ডিয়ামের ক্ষেত্রে তিন হইয়া থাকে। কাজেই ইণ্ডিয়াম পরমাণু জারমেনিয়ামের সহিত যে সহগ্রন্থি স্থাপন করে তাহাতে একটি অপূর্ণ স্থান বা গর্ত থাকিয়া যায় এবং গর্তগুলি পদার্থের পূর্ণপটির নিকটে অতিরিক্ত সংযোজিত শক্তিতলের সৃষ্টি করে (চিত্র 4 ণ)। উপযুক্ত ভাবে শক্তিলাভ করিয়া পূর্ণপটি হইতে ইলেকট্রন সংযোজিত শক্তিতলে চলিয়া যাইতে পারে এবং সেখানে অপূর্ণ স্থানকে পূর্ণ করিতে পারে। এইরূপ ঘটিলে যে ইলেকট্রনটি চলিয়া গেল তাহার অভাবে পূর্ণপটিতে একটি গর্তের সৃষ্টি হইবে। সেই গর্ত পূর্ণ করিবার জন্য নীচে হইতে আর একটি ইলেকট্রন আসিয়া পড়ে। ইলেকট্রনটি আসার জন্য প্রথম গর্তটি পূর্ণ হইলেও ইলেকট্রনটি চলিয়া আসার জন্য সেই স্থানে একটি গর্ত রাখিয়া আসে। সেই গর্ত পূর্ণ করিবার জন্য আর একটি ইলেকট্রন আসিয়া পড়ে এবং পরপর এই ঘটনা চলিতে থাকে। সুতরাং একদিকে ইলেকট্রনগুলি গর্তগুলিকে পূর্ণ করিতে করিতে আগাইয়া যায় এবং অপরদিকে যে সমস্ত নূতন গর্তের সৃষ্টি হয় সেই গর্তগুলি ইলেকট্রনের গতির ঠিক বিপরীত দিকে চলিতে থাকে। ইলেকট্রনের ঘাটতির জন্য গর্তের



চিত্র—4ণ

সৃষ্টি হয় বলিয়া গর্তগুলি ধনাত্মক তড়িৎ কণার মত আচরণ করে। সুতরাং গর্তের এই প্রবাহকে ধনাত্মক আধানের প্রবাহ হিসাবে ধরা যাইতে পারে। এই ধরনের অর্ধপরিবাহীকে p-জাতীয় অর্ধপরিবাহী বলা হয়।

4.14. অর্ধপরিবাহী ডায়োড (Semi-conductor diode) : আমরা জানি দ্বিতড়িৎ-ভালভ, বা ডায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী প্রাবহকে একমুখী করা যায়। উপযুক্তভাবে অর্ধপরিবাহীর সমন্বয় ঘটাইয়া ডায়োড তৈয়ারী করা যায় এবং অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যেও পরিবর্তী প্রবাহের একমুখীকরণ সম্ভব। এই



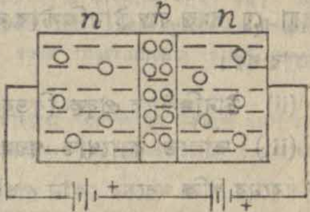
চিত্র—4ত

সমস্ত ডায়োডকে সাধারণত **জাংশন ডায়োড** (junction diode) বলা হয়। একটি n-জাতীয় এবং একটি p-জাতীয় পাতলা অর্ধপরিবাহী কেলাসকে যুক্ত করিয়া জাংশন ডায়োড তৈয়ারী করা হয় (চিত্র 4ত)। AB অর্ধপরিবাহী দুইটির সংযোগস্থল সূচিত করিতেছে।

কোন অর্ধপরিবাহীকে সাধারণ তাপমাত্রায় রাখিলে তাপীয় উত্তেজনার জন্য মুক্ত ইলেকট্রন এবং ধনাত্মকগর্ত এলোমেলোভাবে সতত সঞ্চরণশীল থাকে বলিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয় না। কোন অর্ধপরিবাহীর দুইপ্রান্তে বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করিলে ইলেকট্রন এবং 'গর্ত' নির্দিষ্ট অভিমুখে সঞ্চালিত হইয়া তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করে। অবশ্য এই ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ খুব কম হইবে। কিন্তু চিত্র 4ত (i) অনুযায়ী জাংশন ডায়োডের সহিত ব্যাটারী সংযুক্ত করিলে প্রযুক্ত বিভব-প্রভেদের জন্য AB-এর মধ্য দিয়া ইলেকটনগুলি ডানদিকে এবং গর্তগুলি বাঁদিকে প্রবাহিত হইতে থাকিবে। ইহার ফলে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হইবে। কিন্তু চিত্র 4ত (ii) অনুযায়ী ব্যাটারীকে যুক্ত করিলে p-অংশে খুব কম সংখ্যক ইলেকট্রন এবং n-অংশে খুব কম সংখ্যক ধনাত্মক গর্ত থাকে বলিয়া খুব ক্ষীণ তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি

হইবে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা প্রথম ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রার এক হাজার ভাগের এক ভাগ আপেক্ষাও কম হইবে। সুতরাং বলা যাইতে পারে যে এই ধরনের জাংশন ডায়োড কেবলমাত্র একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহ ঘটাইতে পারে। এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী করা যাইতে পারে।

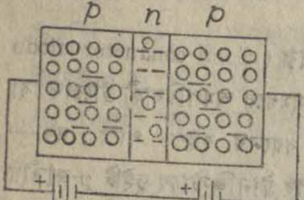
4.15. অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টার (Semi-conductor triode or Transistor): অর্ধপরিবাহী পদার্থের উপযুক্ত সমন্বয়ে অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টার তৈয়ারী করা হয়। ট্রানজিস্টার দুই ধরনের হইতে পারে; যথা—*p-n-p* জাতীয় এবং *n-p-n* জাতীয়। *p-n-p* জাতীয় ট্রানজিস্টারে দুইটি *p*-জাতীয় অর্ধপরিবাহীর মধ্যে একটি *n*-জাতীয় অর্ধপরিবাহী রাখিয়া দেওয়া হয়। বিপরীতক্রমে *n-p-n* জাতীয় ট্রানজিস্টারে দুইটি *n*-জাতীয় অর্ধপরিবাহীর মধ্যে একটি *p*-জাতীয় অর্ধপরিবাহীকে রাখিতে হয়। এই জাতীয় ট্রানজিস্টারের মাঝখানের সরু স্তরকে **ভূমি** (base) বলা হয় এবং ভূমির দুই পার্শ্বে অবস্থিত স্তর দুইটির একটিকে **নিঃসারক** (emitter) এবং অপরটিকে **সংগ্রাহক** (collector) বলা হয়। ট্রায়োড ভালভের সহিত তুলনা করিলে ভূমিকে গ্রীডের (grid) সহিত; নিঃসরককে ক্যাথোডের (cathode) সহিত এবং সংগ্রাহককে প্লেট (plate)-এর সহিত তুলনা করা যাইতে পারে। ট্রানজিস্টারের মধ্যবর্তী স্থানে যে ভূমি থাকে তাহার বেধ খুবঅল্প রাখা হয়। সাধারণতঃ এই বেধের মান এক ইঞ্চির হাজার ভাগের একভাগের মত হইয়া থাকে।



চিত্র—4থ

4থ নং চিত্রে একটি *n-p-n* জাতীয় ট্রানজিস্টার দেখান হইয়াছে এবং উহার সহিত উপযুক্ত ভাবে ব্যাটারী সংযুক্ত করা হইয়াছে। বিভবপ্রভেদ সংযুক্ত করার জন্য বামদিকের *n*-অঞ্চল হইতে মুক্ত ইলেক্‌ট্রনগুলি *p*-এর অভিমুখে ধাবিত হয়। ভূমির বেধ খুব কম বলিয়া আগত ইলেকট্রনগুলি *p*-এর ধনাত্মক গর্তের সহিত মিলিত হইবার বিশেষ সুযোগ পায় না এবং অধিকাংশ ইলেকট্রন (95%—99%) ডানদিকের *p-n* সংযোগস্থলে আসিয়া পৌঁছায়। ডানদিকের অর্ধপরিবাহীটির বিভব ভূমির বিভবের তুলনায় ধনাত্মক থাকে বলিয়া ইলেকট্রনপ্রবাহ আরও ত্বরান্বিত হয়। ইহার ফলে জোরালো তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়। এই ক্ষেত্রে বাদিকের *n*-অংশ

নিঃসারক হিসাবে, ডানদিকের n-অংশ সংগ্রাহক হিসাবে এবং মধ্যে অবস্থিত p-অংশ ভূমি হিসাবে কাজ করে। স্পষ্টতঃই নিঃসারক ও ভূমির মধ্যে প্রযুক্ত বিভবপ্রভেদ সামান্য পরিমাণে বাড়াইলে সংগ্রাহক ও ভূমির মধ্যে তুলনামূলক ভাবে বেশী সংখ্যায় ইলেকট্রন প্রবাহিত হইবে অর্থাৎ তড়িৎপ্রবাহ বাড়িয়া যাইবে। এক্ষেত্রে ট্রানজিস্টার বিবর্ধক হিসাবে কাজ করে। উপযুক্ত ব্যবস্থা অবলম্বন করিয়া ট্রানজিস্টারকে কম্পক (oscillator) হিসাবেও ব্যবহার করা যাইতে পারে।



চিত্র—4দ

4দ নং চিত্রে বর্তনীসহ p-n-p ট্রানজিস্টার দেখান হইয়াছে। n-p-n জাতীয় ট্রানজিস্টারের মত p-n-p জাতীয় ট্রানজিস্টারের কার্যনীতি ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে।

4.16. ট্রানজিস্টার ব্যবহারের সুবিধা ও অসুবিধা :

সুবিধা : (i) ট্রানজিস্টারের আকার ভালভের আকারের তুলনায় খুব ছোট বলিয়া যে সমস্ত যন্ত্রে ট্রানজিস্টার ব্যবহার করা হয় তাহাদের জন্য খুব অল্প জায়গা দরকার হয়।

(ii) ট্রানজিস্টারে প্রযুক্ত বিভবপ্রভেদ খুব কম মানের হইয়া থাকে।

(iii) ভালভে ক্যাথোড গরম করিতে শক্তি খরচ হয়। ট্রানজিস্টারের ক্ষেত্রে এই ধরনের শক্তি খরচের কোন প্রশ্নই উঠে না।

(iv) ভালভের তুলনায় ট্রানজিস্টারের নিপুণতা বেশী।

(v) ভালভের তুলনায় ট্রানজিস্টারের আয়ুঃকাল অনেক বেশী।

অসুবিধা : (i) টানজিস্টার সীমিত কম্পাঙ্কের মধ্যে কাজ করে।

(ii) টানজিস্টারের উৎপাদিত ক্ষমতা তুলনামূলক ভাবে কম।

(iii) তাপমাত্রা পরিবর্তিত হইলে টানজিস্টারের ধর্মাবলী বিশেষভাবে পরিবর্তিত হইয়া যায়।

4·17. টানজিস্টারের ব্যবহার : বর্তমানযুগে টানজিস্টার অসংখ্য কাজে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। যে সমস্ত যন্ত্রে ভালভ ব্যবহার করা হইত বর্তমানে সেই সমস্ত যন্ত্রে ভালভের পরিবর্তে উপযুক্ত ধরনের টানজিস্টার ব্যবহার করা হয়। তাছাড়া ইলেকট্রনিক কমপিউটার যন্ত্রে, কৃত্রিম উপগ্রহের বিভিন্ন যন্ত্রপাতিতে এবং বিভিন্ন গবেষণায় ট্রানজিস্টার ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

প্রশ্নাবলী

1. টমসনের পারমাণবিক গঠনকল্পের বর্ণনা দাও এবং উহার ত্রুটিগুলি লিখ। [Describe Thomson's atomic model and mention its drawbacks.]

2. রাদারফোর্ডের পারমাণবিক গঠনকল্পের বর্ণনা দাও। এই গঠনকল্পের ত্রুটি কি কি ? [Describe Rutherford's atomic model. What are the drawbacks of the model ?]

3. বোরের পারমাণবিক মডেলের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও এবং উহার ত্রুটিগুলির উল্লেখ কর। [Describe briefly Bohr's atomic model and mention the drawbacks.]

4. পরমাণুর নিউক্লিয়াসের গঠন সংক্ষেপে বর্ণনা কর। পারমাণবিক সংখ্যা ও ভর সংখ্যার মধ্যে পার্থক্য কি ? [Outline briefly the nuclear structure of an atom. What is the distinction beetween atomic number and mass number.]

5. একস্থানিক বলিতে কি বোঝায় ? কয়েকটি একস্থানিকের উদাহরণ দাও। [What is meant by an isotope ? Give some examples of isotopes.]

6. ধনাত্মক রশ্মি কাহাকে বলে ? তাহারা কি ভাবে উৎপন্ন হয় ? টমসন্ কিরূপে নিয়নের একস্থানিক বাহির করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন তাহা লিখ। [What are meant by Positive rays ? How are they produced ? State briefly how Thomson was successful to discover the isotopes of neon.]

7. অ্যাষ্টনের ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং সংক্ষেপে উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। এই ধরনের যন্ত্রকে ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র বলা হয় কেন ? [Describe Aston's mass spectrograph and discuss briefly its working principle. Why are such instruments called mass spectrographs ?]

8. যে কোন ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে পরমাণুর ভর কিরূপে মাপিবে ? [Describe any mass spectrograph. How will you measure the mass of an atom with its help ?]

9. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ : (*a*) প্রতিপ্রভা ও (*b*) অনুপ্রভা। [Write short notes on (*a*) Fluorescence and (*b*) Phorphorescence.]

10. পরিবাহী, অন্তরক এবং অর্ধ-পরিবাহী কাহাকে বলে ? একটি চিত্রের সাহায্যে তাহাদের পার্থক্য বুঝাইয়া দাও। [What are conductors, insulators and semi-conductors ? Distinguish them with the help of energy bands.]

11. কঠিন পদার্থের শক্তি পটি বলিতে কি বুঝায় ? বিভিন্ন ধরণ পদার্থের শক্তিপটির বর্ণনা দাও। [What are meant by energy bands in sollds ? Describe the types of energy bands for different types of solids.

12. অর্ধ-পরিবাহী কাহাকে বলে ? *p*-জাতীয় এবং *n*-জাতীয় অর্ধ-পরিবাহী কাহাকে বলে তাহা বুঝাইয়া দাও। [What is a semi-conductor ? Explain what is meant by *p*-type and *n*-type semi-conductors.]

13. অর্ধ-পরিবাহী ডায়োডের বর্ণনা দাও এবং উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [Describe a semi-conductor diode and explain its working principle.]

14. ট্রানজিষ্টার কাহাকে বলে ? ট্রানজিষ্টারের কার্যনীতি সংক্ষেপে আলোচনা কর। উহারা কি কাজে লাগে ? [What is a transistor ? Discuss briefly the working principle of a transistor. What are its uses ?]

পঞ্চম অধ্যায়

তেজস্ক্রিয়তা

(Radio-activity)

5.1. তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity) : 1896 খ্রীষ্টাব্দে হেনরি বেকারেল (Henry Becquerel) সর্বপ্রথম তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার করেন। তিনি লক্ষ্য করেন যে বিভিন্ন ধরনের ইউরেনিয়াম লবণ হইতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে একধরনের রশ্মি বাহির হইয়া আসে যাহা কালো কাগজে মোড়া ফটোগ্রাফিক প্লেটকেও প্রভাবিত করিতে পারে। তিনি আরও লক্ষ্য করেন যে এই ধরনের বিকীরণ সূর্যালোক বা অন্য কোনও ভৌত বা রাসায়নিক শক্তির উপর নির্ভর করে না এবং প্রতিপ্রভার সহিত এই বিকীরণের কোন সম্পর্ক নাই। ইউরেনিয়াম হইতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে এই ধরনের বিকীর্ণ রশ্মির নাম দেওয়া হয় **বেকারেল রশ্মি**। পরবর্তীকালে দেখা যায় যে, ইউরেনিয়াম ছাড়া আরও কতকগুলি পদার্থ যথা থোরিয়াম, রেডিয়াম, পোলোনিয়াম প্রভৃতি হইতেও অনুরূপ রশ্মি নির্গত হইতেছে। তখন এই সমস্ত রশ্মিগুলির সাধারণভাবে নামকরণ করা হয় **তেজস্ক্রিয় রশ্মি** এবং যে ঘটনার জন্য তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হয় তাহাকে বলা হয় **তেজস্ক্রিয়তা**। তেজস্ক্রিয়তা এক ধরনের প্রাকৃতিক ঘটনা যাহার জন্য 208 অথবা তাহার বেশী আণবিক গুরুত্ব বিশিষ্ট ভারী মৌলের পরমাণুগুলি স্বতঃস্ফূর্ত ভাবে ভাঙ্গিয়া যায় এবং তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হয়। তেজস্ক্রিয়তা পরিপার্শ্বিক অবস্থা যথা চাপ, তাপমাত্রা, তড়িৎ এবং চৌম্বকক্ষেত্র ইত্যাদির উপর নির্ভর করে না। তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লিয় ঘটনা।

সাধারণত আকরিক পিচব্লেণ্ড (pitchblende) হইতে ইউরেনিয়াম সংগ্রহ করা হয়। বেকারেল রশ্মি আবিষ্কারের পর মাদাম কুরী এবং তাঁহার স্বামী লক্ষ্য করেন যে ইউরেনিয়াম পৃথক করার পর যে পিচ্‌ব্লেণ্ড পড়িয়া থাকে তাহার তেজস্ক্রিয়তা ইউরেনিয়ামের তেজস্ক্রিয়তা অপেক্ষা প্রায় চারগুণ বেশী। স্বাভাবিকভাবেই তাঁহারা সিদ্ধান্ত করেন যে ঐ আকরিকে ইউরেনিয়াম ছাড়া আরও অন্য তেজস্ক্রিয় পদার্থ বিদ্যমান আছে। তিন বৎসর ব্যাপিয়া অমানুষিক পরিশ্রমে তাঁহারা পোলেনিয়াম এবং রেডিয়াম এই দুইটি তেজস্ক্রিয় পদার্থ আবিষ্কার করিতে সক্ষম হন। ইউরেনিয়ামের তেজস্ক্রিয়তার তুলনায় পোলোনিয়ামের তেজস্ক্রিয়তা প্রায় হাজার গুণ এবং রেডিয়ামের তেজস্ক্রিয়তা প্রায় এক কোটি গুণ বেশী হইয়া থাকে। এই আবিষ্কারের জন্য কুরী দম্পতি 1904 খ্রীষ্টাব্দে নোবেল পুরষ্কার লাভ করেন।

পরবর্তীকালে আরও বহু তেজস্ক্রিয় পদার্থ আবিষ্কৃত হইয়াছে।

5.2. তেজস্ক্রিয়তা বিষয়ে কয়েকটি মূল তথ্য (Some principal facts about radioactivity): বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে নিম্নলিখিত মূল তথ্যগুলি জানা যায় :—

(i) যে সমস্ত ভারী মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা 81 বা তাহার বেশী সেই সমস্ত পদার্থের পরমাণু হইতে তেজস্ক্রিয় বিকিরণ নির্গত হয়।

(ii) তেজস্ক্রিয়তার জন্য একটি মৌল অন্য একটি মৌলে রূপান্তরিত হইতে থাকে।

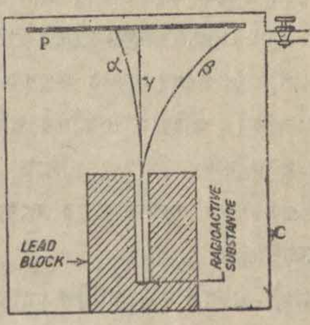
(iii) তেজস্ক্রিয় বিকীরণের হার তেজস্ক্রিয় পদার্থে বর্তমান পরমাণুর উপর নির্ভরশীল। প্রযুক্ত চাপ, তাপমাত্রা, বৈদ্যুতিক ও চৌম্বক ক্ষেত্র ইত্যাদি তেজস্ক্রিয় বিকিরণের হারকে প্রভাবিত করিতে পারে না। তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত নিউক্লিয় ঘটনা।

(iv) তেজস্ক্রিয় পদার্থের তাপমাত্রা পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রা অপেক্ষা সামান্য বেশী হইয়া থাকে।

(v) তেজস্ক্রিয় বিকিরণে তিন ধরনের রশ্মি পাওয়া যায় ; যথা, α-রশ্মি (α-ray), β-রশ্মি (β-ray) ও γ-রশ্মি (γ-ray)।

5.3. তেজস্ক্রিয় বিকিরণের প্রকৃতি (Nature of radioactive radiations) : তেজস্ক্রিয় বিকিরণের প্রকৃতি নির্ণয়ের জন্য মাদাম কুরী একটি সহজ পরীক্ষার ব্যবস্থা করেন।

কোন সীসার ব্লকে একটি সরু লম্বা ছিদ্র করিয়া গর্তের তলদেশে সামান্য পরিমাণ রেডিয়াম ঘটিত তেজস্ক্রিয় পদার্থ রাখা হয় (চিত্র 5ক)। সীসার ব্লকের কিছু উপরে একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট P রাখা হয় এবং সমগ্র ব্যবস্থাটি একটি বায়ুনিরুদ্ধ প্রকোষ্ঠ C-এর ভিতর অবস্থিত থাকে। উপযুক্ত পাম্পের সাহায্যে প্রকোষ্ঠটিকে বায়ুশূন্য রাখা হয়। তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে সরু লম্বা ছিদ্র দিয়া তেজস্ক্রিয় রশ্মিসমূহ উপরের দিকে নির্গত হইয়া ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপরে আপতিত হয়। এইবার কিছুক্ষণ ধরিয়া কাগজের তলের সহিত লম্বভাবে এবং সম্মুখ হইতে পশ্চাৎ অভিমুখে জোরালো চৌম্বক ক্ষেত্র (চিত্রে দেখান হয় নাই) প্রয়োগ করা হইল। তাহার পরে ফটোগ্রাফিক প্লেটটিকে ডেভেলাপ করিলে প্লেটের উপর তিনটি স্পষ্ট দাগ



চিত্র—5 ক

দেখিতে পাওয়া যাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে মূল বিকিরণে তিন প্রকারের রশ্মি বিদ্যমান। পরীক্ষালব্ধ ফলকে বিশ্লেষণ করিলে দেখা যায় যে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে এক শ্রেণীর রশ্মি বামদিকে এবং অন্য এক শ্রেণীর রশ্মি দক্ষিণদিকে বাঁকিয়া যায়। কিন্তু তৃতীয় শ্রেণীর রশ্মি কোনরকম বিচ্যুত না হইয়া সরাসরি সোজা পথে চলিয়া যায়। চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য প্রথম দুই শ্রেণীর রশ্মির বিপরীত দিকে বিচ্যুতি ঘটে। সুতরাং তাহারা বিপরীত ধরনের তড়িৎগ্রস্ত কণিকা দ্বারা গঠিত। তৃতীয় শ্রেণীর রশ্মির কোন দিকে বিচ্যুতি ঘটে না বলিয়া উহা নিঃসন্দেহে নিস্তড়িৎ। প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ, কণাগুলির গতির অভিমুখ এবং কণার বিচ্যুতির অভিমুখ লক্ষ্য করিয়া মাদাম কুরী প্রমাণ করেন যে বামদিকের বিচ্যুত ভারী কণাগুলি ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত α-কণা। দক্ষিণদিকের কণাগুলি ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত β-কণা। মধ্যেকার অবিচ্যুতরশ্মি সাধারণ আলো বা এক্স-রশ্মির ন্যায় এক ধরনের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ এবং ইহার নাম গামারশ্মি।

5·4. তেজস্ক্রিয় রশ্মি সমূহের ধর্মাবলী (Properties of radioactive rays) :

(*a*) **α-রশ্মির ধর্মাবলী :**

(i) তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে ক্যাথোড রশ্মি বাঁকিয়া যায়। প্রযুক্ত ক্ষেত্রের অভিমুখ এবং বিচ্যুতির অভিমুখ লক্ষ্য করিয়া বলা যায় যে α-রশ্মি দ্রুতগতি-সম্পন্ন ধনাত্মক তড়িৎ যুক্ত কণার সমষ্টি।

(ii) তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে আলফা কণাগুলি প্রচণ্ড বেগে নির্গত হয়। গতিবেগের পরিমাণ বিভিন্ন বস্তুর ক্ষেত্রে বিভিন্ন হইলেও কোন নির্দিষ্ট তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষেত্রে এই বেগের মান নির্দিষ্ট হইবে। α-কণার গতিবেগ সাধারণত $1{\cdot}4\times10^9$ সেমি./সেকেণ্ড হইতে $1{\cdot}7\times10^9$ সেমি./সেকেণ্ড পর্যন্ত হইয়া থাকে।

(iii) প্রতিপ্রভ পর্দার উপর α-রশ্মি ঝলকানি বা স্ফুলিঙ্গায়ন (scintillation) সৃষ্টি করে। অবিরাম প্রকৃতির প্রতিপ্রভার সৃষ্টি না করিয়া ছাড়া ছাড়া স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি করে বলিয়া আমরা বলিতে পারি যে, α-রশ্মি কতকগুলি কণার সমষ্টি। প্রতিপ্রভ পর্দার স্ফুলিঙ্গায়নের সংখ্যা গুনিয়া আলফা-কণিকার সংখ্যা গণনা করা যাইতে পারে।

(iv) α-রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটকে প্রভাবিত করিতে পারে।

(v) কোন গ্যাসে আলফা রশ্মি তীব্র আয়নয়ন সৃষ্টি করিতে পারে। গ্যাসের ভিতর দিয়া নির্দিষ্ট দূরত্ব যাইবার পর আলফা-রশ্মির আয়নয়ন ক্ষমতা নিঃশেষ হইয়া

যায়। ঐ দূরত্বকে α-কণার পাল্লা (range) বলা হইয়া থাকে এবং এই পাল্লার মান তেজস্ক্রিয় বস্তুর উপর নির্ভরশীল।

(vi) α-কণার ভেদন ক্ষমতা খুব কম এবং ইহা কোন বস্তুতে সহজেই শোষিত হইয়া যায়। 0·1 মি. মি. পুরু অ্যালুমিনিয়াম বা অভ্রের পাত α-কণাকে শোষিত করিয়া লইবে।

(vii) খুব পাতলা সোনার বা অভ্রের পাতের ভিতর দিয়া যাইবার সময় α-কণাগুলির বিক্ষেপণ (scattering) ঘটিয়া থাকে।

(viii) α-কণা কোন মৌলের নিউক্লিয়াসকে আঘাত করিয়া উহাকে অন্য মৌলের নিউক্লিয়াসে রূপান্তরিত করিতে পারে।

(ix) α-রশ্মি শরীরের উপর পড়িলে ক্ষতের সৃষ্টি করে।

(x) পরীক্ষার সাহায্যে জানা যায় যে α-কণার ভর একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের প্রায় চারগুণ। তাছাড়া উহার আধান দুইটি ইলেকট্রনের আধানের সমান। দ্বি-আয়নিত (doubly ionised) হিলিয়াম আয়নের ভর ও আধান অনুরূপ বলিয়া সিদ্ধান্ত করা যাইতে পারে যে α-কণা হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াস ছাড়া আর কিছুই নহে। 1909 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড পরীক্ষার সাহায্যে ঐ সিদ্ধান্তকে সন্দেহাতীত ভাবে প্রমাণিত করিতে সমর্থ হন।

(b) **β-রশ্মির ধর্মাবলী :**

(i) বিটা-রশ্মি চৌম্বক এবং বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের প্রভাবে বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষেপণের প্রকৃতি লক্ষ্য করিয়া বলা যায় যে বিটা রশ্মি দ্রুতগতি সম্পন্ন ঋণাত্মক তড়িৎ যুক্ত কণিকার সমষ্টি। পরীক্ষার সাহায্যে আরও প্রমাণ করা যায় যে এই কণিকাগুলি ইলেকট্রন ছাড়া আর কিছুই নহে।

(ii) তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে বিটারশ্মির কণিকাগুলি প্রচণ্ড বেগে বাহির হইয়া আসে। সময় সময় ইহাদের গতিবেগ আলোকের গতিবেগের প্রায় 99% পর্যন্ত হইয়া থাকে।

(iii) কোন গ্যাসে বিটা রশ্মি আয়নয়ন ঘটাইতে পারে। কিন্তু ইহার আয়নয়ন ক্ষমতা আলফা-রশ্মির তুলনায় অনেক কম।

(iv) প্রায় 1 সে. মি. পুরু অ্যালুমিনিয়ামের পাতের ভিতর দিয়া বিটা-রশ্মি যাইতে পারে। সুতরাং আলফা রশ্মির তুলনায় বিটা-রশ্মির ভেদন ক্ষমতা অনেক বেশী।

(v) বিটারশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটকে আলফা রশ্মির তুলনায় বেশী পরিমাণে প্রভাবিত করিতে পারে।

(vi) প্রতিপ্রভ পর্দায় বিটা-রশ্মি প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে।

(vii) পদার্থের ভিতর দিয়া যাইবার সময় বিটা-কণিকা বিক্ষিপ্ত হয়।

(ix) বিটা-রশ্মি কোন উচ্চ পারমাণবিক ভর বিশিষ্ট পদার্থে ধাক্কা খাইলে উচ্চ শক্তি সম্পন্ন তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের উদ্ভব ঘটে।

(c) γ-রশ্মির ধর্মাবলী :

(i) তড়িৎ অথবা চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে গামা-রশ্মি গন্তব্য পথ হইতে বাঁকিয়া যায় না। ইহা প্রমাণ কর যে গামা-রশ্মিতে কোন আধান থাকে না।

(ii) এক্স-রশ্মির মত গামা-রশ্মিও এক ধরনের তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। কিন্তু গামা-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক কম।

(iii) গামা-রশ্মির ভেদন ক্ষমতা অনেক বেশী। এই রশ্মি কয়েক সেন্টিমিটার পুরু সীসার পাতকে অথবা 30 সে. মি. পুরু লোহার পাতকে ভেদ করিয়া যাইতে পারে। গামা রশ্মির এই ধর্মের সাহায্যে লোহার কড়ি-বরগার ভিতরে কোন খুঁত আছে কিনা তাহা ধরা যায়।

(iv) কোন গ্যাসের ভিতর দিয়া গামা-রশ্মি গমন করিলে গ্যাসটি সামান্য পরিমাণে আয়নিত হইয়া যায়।

(v) গামা-রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর বিক্রিয়া ঘটায়।

(vi) কয়েকটি বিশেষ পদার্থের উপর আপতিত হইয়া গামা-রশ্মি প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে।

(vii) গামা রশ্মি আলোকের গতিবেগে গমন করে।

(viii) সাধারণ আলোকের ন্যায় গামা-রশ্মিরও প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, সমবর্তন ইত্যাদি দেখা যায়।

(ix) গামা-রশ্মি বিশেষ বিশেষ পদার্থ হইতে ফটো-ইলেকট্রন উৎপন্ন করে।

(x) কোন ভারী পরমাণুর নিউক্লিয়াসের নিকট দিয়া যাইবার সময় গামা-রশ্মি একটি ইলেকট্রন ও একটি পজিট্রনে (positron) রূপান্তরিত হইয়া যাইতে পারে। (ইলেকট্রনের অনুরূপ কিন্তু ধনাত্মক আধান বিশিষ্ট কণিকাকে পজিট্রন বলা হয়।) এই ধরনের রূপান্তরকে 'ফোটনের বস্তুকণায় রূপান্তর' বলা হয়।

(xi) ক্যানসার, টিউমার ইত্যাদির চিকিৎসার জন্য গামা-রশ্মি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

5.5. তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গন : অর্ধায়ু (Radioactive decay : Half life) : তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত নিউক্লিয় ঘটনা। তেজস্ক্রিয় বস্তুর নিউক্লিয়াস হইতে α বা β কণিকার নির্গমনের ফলে পরমাণুগুলি ভাঙিয়া যায় এবং নূতন পরমাণুর সৃষ্টি হয়। নূতন পরমাণুটি তেজস্ক্রিয় হইলে উহা আবার ভাঙ্গিয়া অপর এক নূতন পরমাণুর সৃষ্টি করিবে। এইভাবে যতক্ষণ না তেজস্ক্রিয় পদার্থ অতেজস্ক্রিয় পদার্থে পরিণত হয় ততক্ষণ এই প্রক্রিয়া চলিতে থাকিবে। উদাহরণ স্বরূপ তেজস্ক্রিয় পদার্থ রেডিয়াম তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের ফলে শেষ পর্যন্ত অতেজস্ক্রিয় পদার্থ সীসায় পরিণত হয়।

তেজস্ক্রিয়তার ফলে কোন্ পরমাণুটি কখন এবং কেন ভাঙ্গিবে তাহা নির্দিষ্ট করিয়া বলা যায় না। কিন্তু কোন মুহূর্তে তেজস্ক্রিয়তার জন্য ভাঙ্গনের হার কি হইবে তাহা নির্দিষ্ট করিয়া বলা সম্ভব। বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড ও সডির মত অনুসারে যে কোন মুহূর্তে তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের হার সেই সময়ে উপস্থিত অপরিবর্তিত পরমাণুর সংখ্যার সমানুপাতিক। সুতরাং কোন মুহূর্তে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N হইলে, তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের হার

$$\frac{dN}{dt} \propto -N \quad \text{বা,} \quad \frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad [\ \lambda = \text{তেজস্ক্রিয় ধ্রুবক}\ ]$$

সময়ের সহিত অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা অর্থাৎ N কমিয়া যায় বলিয়া সমীকরণটিতে ঋণাত্মক চিহ্ন বসানো হইয়াছে।

উপরের সমীকরণ হইতে পাই, $\frac{dN}{N} = -\lambda.\ dt$

ইন্টিগ্রেড করিয়া, $\log_e N = -\lambda t + K$ [এখানে K একটি ধ্রুবক]

মনে কর সময় গণনার প্রারম্ভে অর্থাৎ যখন $t=0$ সেই সময়ে অপরিবর্তিত পরমাণুর সংখ্যা N_0

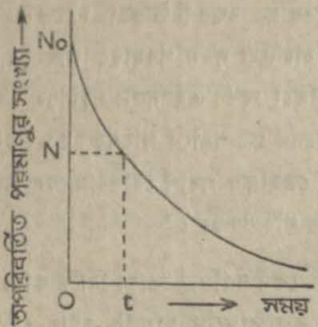
সেই অবস্থায়, $\log_e N_0 = K$

$\therefore\ \log_e N = \lambda t + \log_e N_0$ বা, $\log_e N - \log_e N_0 = -\lambda t$

বা, $\log_e \frac{N}{N_0} = -\lambda t$ বা, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$

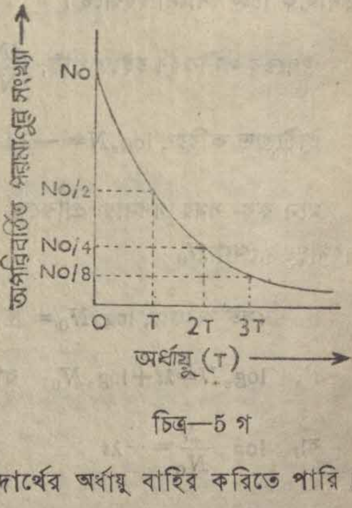
বা, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

সুতরাং তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গন **সূচকীয় সূত্র** (exponential law) মানিয়া চলে। সময়ের সহিত তেজস্ক্রিয় পরমাণুগুলির ভাঙ্গন কিরূপ হইবে তাহা লেখ চিত্রের সাহায্যে দেখানো হইয়াছে (চিত্র 5 খ)। সময়ের শুরুতে ভাঙ্গনের হার খুব দ্রুত থাকে, কিন্তু সময়ের সহিত উহা কমিতে থাকে। তত্ত্বগতভাবে অসীম সময় পরে তেজস্ক্রিয় পদার্থের সব পরমাণুগুলি ভাঙ্গিয়া যাইবে।



চিত্র—5 খ

অর্ধায়ু: তত্ত্বগতভাবে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুগুলি অসীম সময় পরে ভাঙ্গিয়া যাইবে। সুতরাং কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থ কতদিন টিকিয়া থাকিবে তাহা সঠিকভাবে বলা কঠিন। কিন্তু কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তের কত সময় পরে প্রারম্ভিক সংখ্যার অর্ধেক পরিমাণ পরমাণু অপরিবর্তিত থাকিবে তাহা বলা সম্ভব। সময়ের এই পরিমাপকে অর্ধায়ু বলা হয়। সুতরাং, **যে সময়ে তেজস্ক্রিয়তার ফলে কোন পদার্থের অপরিবর্তিত পরমাণুর সংখ্যা প্রারম্ভিক পরমাণুর সংখ্যার অর্ধেক হয় সেই সময়কে ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থটির অর্ধায়ু বলে।** উদাহরণ স্বরূপ রেডিয়ামের অর্ধায়ু 1622 বৎসর। সুতরাং এই মুহূর্তে অপরিবর্তিত রেডিয়াম পরমাণুর সংখ্যা N_0 হইলে 1622 বৎসর পরে ঐ সংখ্যা $N_0/2$ হইবে; আরও 1622 বৎসর পরে ঐ সংখ্যা $N_0/4$ হইবে এবং ভাঙ্গনের হার এইভাবে চলিতে থাকিবে। কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু T হইলে এবং প্রারম্ভিক পরমাণুর সংখ্যা N_0 হইলে বিভিন্ন পরিমাণ অর্ধায়ুর ব্যবধানে পদার্থটির ভাঙ্গন কিরূপ হইবে তাহা লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হইয়াছে (চিত্র 5 গ)।



চিত্র—5 গ

তত্ত্বগতভাবে আমরা কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু বাহির করিতে পারি। আমরা জানি, $N=N_0e^{-\lambda t}$

মনেকর $t=T$ হইলে $N=N_0/2$ হইবে। সেইক্ষেত্রে

$$\frac{N_0}{2}=N_0e^{-\lambda T} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{2}=e^{-\lambda T} \quad \text{বা,} \quad e^{\lambda T}=2$$

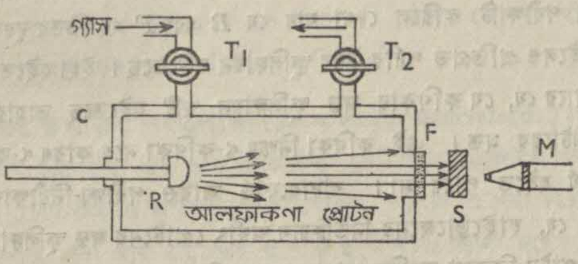
$$\text{বা,} \quad \lambda T=\log_e 2=2.303\times\log_{10} 2=0.6931$$

$$\text{বা,} \quad T=\frac{0.6931}{\lambda}$$

সুতরাং তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের মান (λ) জানা থাকিলে, অর্ধায়ু কত হইবে তাহা নির্ণয় করা সম্ভব। এই ধ্রুবকের মান যত বেশী হইবে অর্ধায়ু তত কম হইবে। বিপরীতক্রমে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের তেজস্ক্রিয় ধ্রুবক কম হইলে ঐ পদার্থটির অর্ধায়ু বেশী হইবে অর্থাৎ ভাঙ্গনের হার কম হইবে।

বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু বিভিন্ন হইয়া থাকে। উদাহরণ স্বরূপ থোরিয়ামের অর্ধায়ু 1.39×10^{10} বৎসর, ইউরেনিয়াম 238-এর অর্ধায়ু 4.5×10^{9} বৎসর; রেডিয়ামের অধায়ু 1622 বৎসর এবং র‍্যাডনের অর্ধায়ু মাত্র 4 দিন।

5.6. **কৃত্রিম মৌলান্তর** (Artificial transmutation): কোন এক মৌল অন্য এক মৌলে রূপান্তরিত হইলে সেই ঘটনাকে **মৌলান্তর** বলা হয়। প্রকৃতিতে তেজস্ক্রিয় পদার্থ পাওয়া যায়। তেজস্ক্রিয় কোন মৌলের পরমাণু হইতে α-কণিকা এবং β-কণিকা নির্গত হওয়ার ফলে নূতন মৌলের পরমাণুর সৃষ্টি হয়। এই ধরনের ঘটনাকে **প্রাকৃতিক মৌলান্তর** (natural transmutation) বলে। কৃত্রিম উপায়ে কোন মৌলকে অন্য একটি মৌলে রূপান্তরিত করা হইলে সেই ঘটনাকে **কৃত্রিম মৌলান্তর** বলা হইবে। বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড 1919 খ্রীষ্টাব্দে



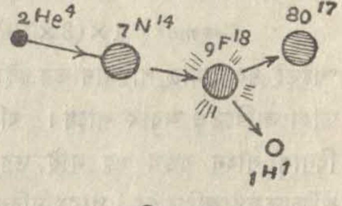
চিত্র—5 ঘ

সর্বপ্রথম কৃত্রিম উপায়ে মৌলান্তর ঘটাইতে সমর্থ হন। বিভিন্ন মৌলিক পরমাণুর নিউক্লিয়াস বিভিন্ন ধরনের হইয়া থাকে। কোন উপায়ে কোন পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে

পরিবর্তিত করা সম্ভব হইলে নূতন পরমাণুর সৃষ্টি হইবে অর্থাৎ মৌলান্তর ঘটিবে। আমরা জানি তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে প্রচণ্ড গতিবেগে α-কণা নির্গত হয়। রাদারফোর্ড কয়েকটি সুস্থিত (stable) মৌলের নিউক্লিয়াসকে উচ্চশক্তি সম্পূর্ণ α-কণা দ্বারা আঘাত করিয়া মৌলান্তর ঘটাইতে সমর্থ হন। 5ঘ নং চিত্রে রাদারফোর্ডের পরীক্ষা ব্যবস্থাটি দেখান হইয়াছে। পরীক্ষা ব্যবস্থায় একটি কাচের প্রকোষ্ঠ (C) থাকে এবং তাহার সহিত দুইটি পার্শ্বনল (T_1, T_2) লাগান থাকে। প্রয়োজন অনুসারে একটি নলের সাহায্যে প্রকোষ্ঠের ভিতর গ্যাস ঢোকান যায় এবং অপরটির সাহায্যে প্রকোষ্ঠ হইতে গ্যাস বাহির করিয়া দেওয়া হয়। প্রকোষ্ঠের এক প্রান্তে একটি পাতলা রূপার পাত (F) লাগান থাকে এবং প্রকোষ্ঠের বাহিরে এবং রূপার পাতের পেছনে একটি জিঙ্ক সালফাইডের প্রতিপ্রভ পর্দা (S) রাখা হয়। মাইক্রোস্কোপ (M)-এর সাহায্যে পর্দার উপর সৃষ্ট প্রতিপ্রভা অথবা স্ফুলিঙ্গায়ন পর্যবেক্ষণ করা হইয়া থাকে। পর্দার বিপরীত দিকে একটি চলমান দণ্ড (R) ঢোকান থাকে। α-কণিকার উৎস হিসাবে দণ্ডের মাথায় সামান্য পরিমাণ তেজস্ক্রিয় রেডিয়াম (RaC') রাখা হয়। RaC' হইতে নির্গত α-কণিকার বায়ুতে পাল্লা (*range*) প্রায় সাত সেন্টিমিটার হইয়া থাকে অর্থাৎ বায়ুর ভিতরে এই ধরনের α-কণিকা সাত সেন্টিমিটারের বেশী যাইতে পারে না। সুতরাং R হইতে অর্থাৎ α-কণিকার উৎস হইতে প্রতিপ্রভ পর্দার দূরত্ব সাত সেন্টিমিটারের বেশী হইলে প্রতিপ্রভ পর্দার উপরে α-কণিকার জন্য কোন স্ফুলিঙ্গায়ন ঘটিবে না। ঐ দূরত্বকে সাত সেন্টিমিটারের বেশী রাখিয়া প্রকোষ্ঠের ভিতর অক্সিজেন অথবা কার্বন ডাই-অক্সাইড রাখিয়া রাদারফোর্ড পরীক্ষাটি করেন এবং দেখিতে পান যে কোন স্ফুলিঙ্গায়ন বা প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হইতেছে না। কিন্তু প্রকোষ্ঠের ভিতর নাইট্রোজেন গ্যাস রাখিয়া পরীক্ষাটি করিলে দেখা যায় যে R এবং F-এর ভিতর দূরত্ব চল্লিশ সেন্টিমিটার হইলেও প্রতিপ্রভ পর্দার উপর স্ফুলিঙ্গায়ন ঘটিতেছে। ইহা হইতে সিদ্ধান্ত করা যাইতে পারে যে, যে কণিকার জন্য স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি হইতেছে তাহার পাল্লা চল্লিশ সেন্টিমিটারের মত। এই কণিকা নিশ্চয় α-কণিকা নহে কারণ α-কণিকার পাল্লা এত দীর্ঘ হইতে পারে না। রাদারফোর্ড আরও পরীক্ষা-নিরীক্ষার দ্বারা দেখিতে পান যে, হাইড্রোজেনের নিউক্লিয়াস অর্থাৎ প্রোটনের জন্য স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি হইতেছে। প্রোটন কিরূপে আসিল তাহার ব্যাখ্যা হিসাবে রাদারফোর্ড বলেন যে, শক্তিশালী α-কণিকার আঘাতের ফলে নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াস ভাঙ্গিয়া প্রোটনের সৃষ্টি করে। নিম্নলিখিত নিউক্লীয় সমীকরণের সাহায্যে ঘটনাটিকে প্রকাশ করা যায়।

$$_7N^{14} + \underset{(\alpha\text{-কণা})}{_2He^4} \rightarrow [_9F^{18}] \rightarrow {_8O^{17}} + \underset{(\text{প্রোটন})}{_1H^1} \quad \cdots \quad (1)$$

আমরা জানি α-কণিকা প্রকৃতপক্ষে হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াস এবং প্রোটন হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াস। একটি α-কণা নাইট্রোজেনের নিউক্লিয়াসকে আঘাত করে এবং তাহারা একসঙ্গে মিশিয়া একটি ফ্লোরিনের নিউক্লিয়াস গঠিত করে। কিন্তু এই নিউক্লিয়াসটি ক্ষণস্থায়ী বলিয়া উহা ভাঙ্গিয়া যায় এবং একটি অক্সিজেনের সমস্থানিক ($_8O^{17}$) এবং একটি প্রোটন উৎপন্ন হয় (চিত্র 5ঙ)। এই ধরনের বিক্রিয়ার ফলে নাইট্রোজেন মৌল অক্সিজেন মৌলে রূপান্তরিত হইয়াছে। অর্থাৎ, কৃত্রিম মৌলান্তর সংঘটিত হইয়াছে। আমরা জানি রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে বিভিন্ন যৌগ বা মৌল মিলিত হইয়া সম্পূর্ণ ভিন্নধর্মী যৌগ বা মৌল উৎপন্ন করে। রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় দুইটি ভিন্নধর্মী পারমাণবিক কণার সংঘাতের ফলে দুইটি সম্পূর্ণ ভিন্নধর্মী পারমাণবিক কণা উৎপন্ন হয়। রাসায়নিক বিক্রিয়ার সহিত সাদৃশ্য লক্ষ্য করিয়া এই ধরনের বিক্রিয়াকে **নিউক্লীয় বিক্রিয়া** (nuclear reaction) বলা হয়। নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় মোট পারমাণবিক সংখ্যা এবং মোট ভরসংখ্যা অপরিবর্তিত থাকিবে। সমীকরণ '1' হইতে দেখিতে পাই যে, নিউক্লীয় বিক্রিয়ার পূর্বে মোট পারমাণবিক সংখ্যা, $7+2=9$ ও মোট ভরসংখ্যা $14+4=18$ এবং বিক্রিয়ার পরে মোট পারমাণবিক সংখ্যা $8+1=9$ এবং মোট ভরসংখ্যা $17+1=18$ হইতেছে। সুতরাং বলা যায় যে, নিউক্লায় বিক্রিয়ায় মোট পারমাণবিক সংখ্যা এবং ভরসংখ্যা অপরিবর্তিত থাকে অর্থাৎ তাহারা সংরক্ষিত (conserved) হয়।



চিত্র—5 ঙ

এই ধরনের পরীক্ষার সাহায্যে আরও অনেকগুলি মৌলের মৌলান্তর ঘটানো হয় এবং অনুরূপ পরীক্ষার ফল হিসাবে নিউট্রন আবিষ্কৃত হয়।

5.7. ভর ও শক্তির সমতুল্যতা (Mass-energy equivalence) : আইনস্টাইনের পূর্বে বিজ্ঞানীরা ভর ও শক্তিকে সম্পূর্ণ দুইটি আলাদা জিনিস হিসাবে গণ্য করিতেন। 1905 খ্রীষ্টাব্দে আইনস্টাইন আপেক্ষিক তত্ত্ববাদ প্রচার করেন। এই তত্ত্ববাদ অনুসারে বলা যায় যে, ভর ও শক্তি দুইটি স্বতন্ত্র জিনিস নহে। তাহারা একই পদার্থের দুইটি ভিন্ন রূপ। তাছাড়া পদার্থের ভর এবং শক্তি পরস্পর তুল্য (equivalent) এবং উপযুক্ত ব্যবস্থায় ভরকে শক্তিতে কিংবা শক্তিকে ভরে রূপান্তরিত করা সম্ভব। পদার্থকে শক্তির ঘনীভূত রূপ হিসাবে ভাবা যাইতে পারে। যদি *m*

পরিমাণ ভরকে সম্পূর্ণভাবে শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয় এবং E যদি উৎপন্ন শক্তির পরিমাণ হয়, তাহা হইলে আইনস্টাইনের বিশ্ববিখ্যাত সূত্র অনুসারে,

$$E=mc^2$$

এখানে c=শূন্য মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ$=3\times10^{10}$ সেমি/সেকেণ্ড। সুতরাং এক গ্রাম পদার্থকে সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তরিত করিলে যদি E পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায় তাহা হইলে

$$E=mc^2=1\times(3\times10^{10})^2=9\times10^{20} \text{ আর্গ।}$$

স্পষ্টতই খুব সামান্য পরিমাণ ভর হইতেই কি প্রচুর পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন করা সম্ভব, তাহা ভাবিতেও অবাক লাগে। যদিও আজ পর্যন্ত কোন পদ্ধতিতে ভরের সম্পূর্ণ বিনাশ সাধন সম্ভব হয় নাই, তবুও বিভিন্ন নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় কিছু পরিমাণ পদার্থ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। পারমাণবিক বিস্ফোরণের সময়ে যে প্রচুর পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয় তাহাও পদার্থের শক্তিতে রূপান্তরের ফলে ঘটিয়া থাকে। সূর্যের মধ্যে প্রতিনিয়ত যে প্রচুর পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হইতেছে তাহাও এই নীতির উপর নির্ভরশীল। আইনস্টাইনের মতবাদ অনুসারে কোন বস্তুর শক্তি বাড়িলে উহার ভরও বাড়িয়া যাইবে। সুতরাং কোন ব্যক্তি গতিশীল হইলে তাহার ভর বাড়িয়া যাওয়া উচিত। কিন্তু আইনস্টাইনের সূত্র অনুযায়ী বিচার করিলে দেখা যাইবে যে, সীমিত গতিবেগ বা শক্তির পরিবর্তনের জন্য ভরের পরিবর্তন তুচ্ছাতিতুচ্ছ হইবে। তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে ইলেকট্রন β-রশ্মির আকারে প্রচণ্ড বেগে বাহির হইয়া আসে। এই গতিবেগের জন্য ইলেট্রনের ভরের যে বৃদ্ধি ঘটে তাহা আইনস্টাইনের সূত্র অনুযায়ী ঘটিয়া থাকে।

5.8. তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক (Radio-isotopes): উচ্চশক্তি সম্পন্ন α-কণিকা, প্রোটন, নিউট্রন ইত্যাদি দ্বারা কতকগুলি হালকা স্থায়ী মৌলকে আঘাত করিলে মৌলগুলি অন্যান্য মৌলের তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকে পরিণত হয়। উৎপন্ন সমস্থানিকগুলি সাময়িকভাবে তেজস্ক্রিয় থাকে এবং এই সমস্ত ক্ষেত্রে কৃত্রিম উপায়ে কোন স্থায়ী মৌলকে তেজস্ক্রিয় মৌলে রূপান্তরিত করা হয় বলিয়া এই ধরনের ঘটনাকে **কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়া** বলা হয়। মাদাম কুরীর কন্যা আইরিন কুরী এবং তাঁহার স্বামী ফ্রেডরিক জুলিও দেখিতে পান যে, অ্যালুমিনিয়াম পাতকে পোলোনিয়াম হইতে নির্গত α-কণা দ্বারা আঘাত করিলে, অ্যালুমিনিয়াম হইতে প্রোটন, নিউট্রন এবং পজিট্রন নির্গত হইতেছে। α-কণার উৎসকে সরাইয়া ফেলিলেও তাহারা দেখিতে পান যে অ্যালুমিনিয়াম হইতে পজিট্রন ক্রমাগত নির্গত হইতেছে। তাহারা আরো লক্ষ্য করেন যে

পজিট্রন নির্গত হওয়ার হার তেজস্ক্রিয়তার সূচকীয় সূত্র (exponential law) অনুযায়ী সংঘটিত হইতেছে। সুতরাং বলা যাইতে পারে যে, ∝-কণার সহিত সংঘাতের ফলে অ্যালুমিনিয়ামের কিছু কিছু পরমাণু তেজস্ক্রিয় অ্যালুমিনিয়ামে রূপান্তরিত হইয়াছে। তেজস্ক্রিয় অ্যালুমিনিয়ামকে অ্যালুমিনিয়ামের তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক বলা হইয়া থাকে। পরবর্তীকালে বিভিন্ন স্থায়ী মৌলকে শক্তি সম্পন্ন কণিকার দ্বারা আঘাত করিয়া শত শত তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক তৈয়ারী করা সম্ভব হইয়াছে।

বর্তমানে তেজস্ক্রিয় সমাস্থানিককে নানা কাজে লাগান হয়। উদ্ভিদ বা প্রাণী দেহে কোন কোন জৈব এবং অজৈব রাসায়নিক পদার্থ কিভাবে সঞ্চালিত হয় তাহা তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকের সাহায্যে নির্ণয় করা সম্ভব। উদাহরণ-স্বরূপ কোন রোগীকে সামান্য পরিমাণ তেজস্ক্রিয় খাদ্যলবণ খাওয়াইলে সময়ের সহিত ঐ তেজস্ক্রিয় লবণ শরীরের বিভিন্ন অংশে সঞ্চালিত হইতে থাকিবে এবং ঐ লবণ শরীরের বিভিন্ন অংশে কিভাবে এবং কোথায় সঞ্চালিত হইতেছে তাহা রোগীর নিকট রাখা গাইগার কাউণ্টার (Geiger counter) রাখিয়া নির্ণয় করা যাইতে পারে। তেজস্ক্রিয় ফসফরাস $_{15}P^{32}$ হইতে নির্গত তেজস্ক্রিয় বিকীরণ কোন কোন রোগ নিরাময়ে সাহায্য করে। সেক্ষেত্রে রোগীকে উপযুক্ত পরিমাণ তেজস্ক্রিয় ফরফরাস খাওয়ান হয়। তেজস্ক্রিয় ষ্ট্রনসিয়াম হাড়ের ক্যানসার নিরাময়ে সাহায্য করে। কোন রোগীর থাইরয়েড গ্রন্থিতে ক্যানসার হইলে তাহাকে তেজস্ক্রিয় আয়োডিন খাওয়ান হয়। টিউমার ধ্বংস করার জন্য তেজস্ক্রিয় কোবাল্ট ব্যবহৃত হইয়া থাকে। বর্তমানে বিভিন্ন শিল্প প্রতিষ্ঠানেও বিভিন্ন কাজের জন্য তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক ব্যবহৃত হইতেছে।

তেজস্ক্রিয় কার্বন ব্যবহার করিয়া বিভিন্ন প্রত্নতাত্ত্বিক ধ্বংসাবশেষের প্রাচীনত্ব নির্ণয় করা যায়।

5.9. **নিউক্লীয় বিভাজন** (Nuclear fission) : নিউক্লীয় বিক্রিয়ার ফলে যদি কোন ভারী ধাতুর পরমাণুর নিউক্লিয়াস ভাঙ্গিয়া মোটামুটি সমান ভরের দুইটি নিউক্লিয়াসে ভাঙ্গিয়া যায় তাহা হইলে সেই ঘটনাকে **নিউক্লীয় বিভাজন** বলা হয়। নিউক্লীয় বিভাজনের ফলে প্রচুর পরিমাণ শক্তি মুক্ত হয়। রাদারফোর্ডের মৌলান্তর পরীক্ষায় বা অনুরূপ অন্যান্য পরীক্ষায় পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ভাঙ্গন খুব সামান্য হয় এবং ভাঙ্গনের ফলে নির্গত শক্তির পরিমাণও খুব বেশী হয় না। প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তার ক্ষেত্রেও অনুরূপ ঘটনা ঘটিয়া থাকে। কিন্তু 1939 খ্রীষ্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী অটো হান (Otto Hahn) এবং ষ্ট্রাসমান (Strassmann) সবিস্ময়ে লক্ষ্য করেন যে উপযুক্ত শক্তিসম্পন্ন নিউট্রন দ্বারা ইউরেনিয়াম পরমাণুকে আঘাত করিলে

পরমাণুটি মোটামুটি সমান ভরের দুইটি টুকরায় ভাঙ্গিয়া যায় এবং এই ভাঙ্গনের ফলে প্রচুর পরিমাণে শক্তি নির্গত হয়। সংজ্ঞানুসারে এই ধরনের ভাঙ্গনকে নিউক্লীয় বিভাজন বলা হইয়া থাকে।

প্রাকৃতিক ইউরেনিয়ামে প্রধানত দুইটি সমস্থানিক ($_{92}U^{238}$ এবং $_{92}U^{235}$) থাকে। সমস্থানিক দুইটির মধ্যে $_{92}U^{235}$ সমস্থানিকটি পরিমাণে খুব কম (মাত্র 0·7%) থাকে কিন্তু উহা সহজেই বিভাজনক্ষম। উপযুক্ত শক্তি সম্পন্ন নিউট্রন দ্বারা $_{92}U^{235}$-কে আঘাত করিলে নিউক্লিয়াসের গঠনে প্রচণ্ড আলোড়নের সৃষ্টি হয়। ইহার ফলে নিউক্লিয়াসটি প্রায় সমান দুইটি টুকরায় ভাঙ্গিয়া যায় এবং সঙ্গে সঙ্গে একাধিক নিউট্রনের সৃষ্টি হয়।

$$_{92}U^{235}+{}_0n^1\rightarrow{}_{56}Ba^{141}+{}_{36}Kr^{92}+3\ {}_0n^1$$

এবং $_{92}U^{235}+{}_0n^1\rightarrow{}_{54}Xe^{139}+{}_{38}Sr^{95}+2\ {}_0n^1$

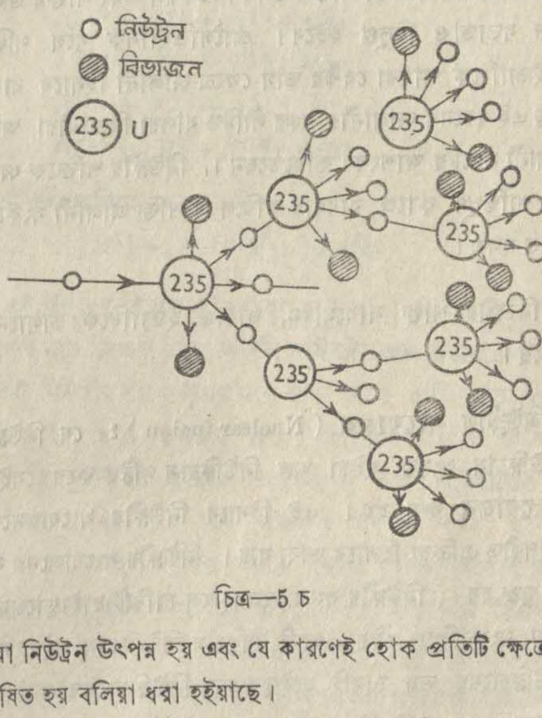
প্রথম ক্ষেত্রে বিভাজনের ফলে ব্যারিয়াম, ক্রিপ্টন (নিষ্ক্রিয় মৌল) এবং তিনটি নিউট্রন উৎপন্ন হয়। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বিভাজনের জন্য জেনন (নিষ্ক্রিয় মৌল), ষ্ট্রনসিয়াম এবং দুইটি নিউট্রন উৎপন্ন হয়।

প্রতিটি ক্ষেত্রেই বিক্রিয়ার পর নিউক্লিয়াসগুলির মোট ভর প্রাথমিক ভর অপেক্ষা কম হইয়া থাকে। ভর দুইটির বিয়োগফল যাহা হইবে সেই পরিমাণ ভর আইনষ্টাইনের ভর-শক্তির সমতুল্যতা সূত্রানুযায়ী শক্তিতে রূপান্তরিত হইবে। হিসাব করিলে দেখা যায় যে প্রতিটি বিভাজন বিক্রিয়ার জন্য নির্গত শক্তির পরিমাণ প্রায় $200\,MeV$-এর মত হইয়া থাকে। সুতরাং এই ধরনের বিক্রিয়ার সাহায্যে অতি অল্প সময়ে বিপুল পরিমাণ শক্তির উদ্ভব ঘটানো সম্ভব।

উপরের সমীকরণ হইতে দেখিতে পাই যে প্রতিটি বিভাজনের সময় একাধিক নিউট্রন উৎপন্ন হয়। তাছাড়া পরবর্তী সময়ে বিভাজন-খণ্ডগুলি হইতেও নিউট্রন নির্গত হইয়া থাকে। নির্গত নিউট্রনগুলি যদি শোষিত হইবার সুযোগ না পায় তাহা হইলে ঐ নিউট্রনগুলি অন্যান্য ইউরেনিয়ামের নিউক্লিয়াসকে আঘাত করিয়া বিভাজন ঘটাইবে এবং প্রতিটি বিভাজনেই আবার একাধিক নিউট্রন উৎপন্ন হইবে। এই প্রক্রিয়া স্বয়ংক্রিয়ভাবে অতি দ্রুতগতিতে পরপর আগাইয়া চলিবে এবং ব্যাপকহারে প্রক্রিয়াটির পুনরাবৃত্তি ঘটিবে। এই ধরণের ঘটনাকে **শৃঙ্খল বিক্রিয়া** (Chain reaction) বলা হয় এবং ইহার ফলে অতি অল্প সময়ের মধ্যে প্রচুর পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়। শৃঙ্খল বিক্রিয়ার ফলে নিউক্লিয়াস বিভাজনের সংখ্যা জ্যামিতিক হারে দ্রুত বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে এবং অতি অল্প সময়েই $_{92}U^{235}$ পরমাণুগুলি ভাঙ্গিয়া

যাইবে। দ্রুত বিভাজনের ফলে অত্যন্ত অল্প সময়ে বিপুল পরিমাণ শক্তি নির্গত হওয়ায় প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটিয়া থাকে। এই নীতি অবলম্বন করিয়া **পারমাণবিক বোমা** (atomic bomb) প্রস্তুত করা হয়। অবশ্য শৃঙ্খল বিক্রিয়া চালু রাখিতে হইলে ইউরেনিয়ামের টুকরাটিকে একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম আয়তনের হইতে হইবে। এই ন্যূনতম আয়তনকে সন্ধি-আয়তন (critical size) বলা হয়।

5 চ নং চিত্রে শৃঙ্খল বিক্রিয়ার একটি নক্সা দেখানো হইয়াছে। প্রতিটি বিভাজনে



চিত্র—5 চ

তিনটি করিয়া নিউট্রন উৎপন্ন হয় এবং যে কারণেই হোক প্রতিটি ক্ষেত্রে একটি করিয়া নিউট্রন শোষিত হয় বলিয়া ধরা হইয়াছে।

নিউক্লীয় বিভাজনে শৃঙ্খল-বিক্রিয়ার জন্য বিস্ফোরণ ঘটিতে পারে। কিন্তু কোন উপায়ে যদি শৃঙ্খল-বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত করা সম্ভব হয় তাহা হইলে নিউক্লীয় শক্তি নিয়ন্ত্রিত হারে নির্গত হইবে এবং সেই শক্তিকে বিদ্যুৎ-শক্তি উৎপাদন ইত্যাদি বিভিন্ন ধরনের জনহিতকর কাজে লাগানো যাইতে পারে। আমরা জানি যে শৃঙ্খল-বিক্রিয়ায় দ্রুত বিভাজনের প্রধান কারণ জ্যামিতিক হারে নিউট্রনের সৃষ্টি। নিয়ন্ত্রিত শৃঙ্খল বিক্রিয়ায় গ্রাফাইট, ভারীজল (heavy water) ইত্যাদির সাহায্যে দ্রুতগতি সম্পন্ন উপযুক্ত সংখ্যক নিউট্রনকে মন্থর গতি সম্পন্ন করা হয়। ইহাকে এমন ভাবে

নিয়ন্ত্রিত করা হয় যাহাতে প্রতিটি বিভাজনের জন্য উৎপন্ন নিউট্রনগুলির মধ্যে গড়ে একটি করিয়া নিউট্রন পুনরায় বিভাজন সৃষ্টি করিতে পারে। ক্যাডমিয়াম বা বোরণ কার্বাইড নিউট্রন শোষণ করিয়া লয়। সুতরাং তাহাদের সাহায্যেও শৃঙ্খল বিক্রিয়াকে কার্যকরভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয়। পারমাণবিক চুল্লীতে (Nuclear reactor) নিয়ন্ত্রিত নিউক্লীয় বিক্রিয়ার জন্য তাপ উৎপন্ন হয় এবং সেই তাপকে বিদ্যুৎ উৎপাদনের কাজে ব্যবহার করা হইয়া থাকে। ভারতবর্ষেও এই ধরনের কয়েকটি চুল্লী স্থাপিত হইয়াছে। বর্তমান যুগের সভ্যতা শক্তির উপর নির্ভরশীল এবং শক্তির উৎস নিঃশেষিত হইলে বর্তমান সভ্যতাও বিলুপ্ত হইবে। প্রাগৈতিহাসিক যুগে সঞ্চিত কয়লা, পেট্রোলিয়াম ইত্যাদিকে আমরা বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে জ্বালানী হিসাবে ব্যবহার করিয়া থাকি। কিন্তু এই ধরনের জ্বালানীর সঞ্চয় সীমিত বলিয়া বিজ্ঞানীরা অদূর ভবিষ্যতে পৃথিবীতে জ্বালানী সঙ্কটের আশংকা করিতেছেন। নিউক্লীয় শক্তিকে ধ্বংসের কাজে না লাগাইয়া শান্তিপূর্ণ কাজে ব্যবহার করিলে ঐ শক্তি জ্বালানী সংকটের সমস্যার সমাধান করিতে সক্ষম।

বর্তমানে নিউক্লীয় শক্তি সাবমেরিন, জাহাজ ইত্যাদিকে চালানোর কাজেও ব্যবহৃত হইতেছে।

5.10. নিউক্লীয় সংযোজন (Nuclear fusion) : যে নিউক্লীয় প্রক্রিয়ায় একাধিক নিউক্লিয়াস সংযুক্ত হইয়া অন্য নিউক্লিয়াস গঠিত করে সেই প্রক্রিয়াকে **নিউক্লীয় সংযোজন** বলা হয়। এই হিসাবে নিউক্লীয় সংযোজনকে নিউক্লীয় বিভাজনের বিপরীত প্রক্রিয়া হিসাবে ভাবা যায়। নিউক্লীয় সংযোজনের সময়েও প্রচুর পরিমাণ শক্তি মুক্ত হয়। নিউক্লীয় সংযোজনের ফলে চারিটি হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস অর্থাৎ প্রোটন সংযোজিত হইয়া একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস গঠন করে। কিন্তু হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের ভর চারটি হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াসের মোট ভর অপেক্ষা সামান্য কম হয়। যে পরিমাণ কম হয় তাহা আইনস্টাইনের সূত্রানুযায়ী সমতুল্য শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। প্রতিটি সংযোজনে নির্গত শক্তির পরিমাণ প্রায় 27 MeV হইয়া থাকে। কিন্তু এই ধরনের সংযোজন ঘটাইতে কয়েক মিলিয়ন ডিগ্রী তাপমাত্রার প্রয়োজন। সাধারণ ভাবে পৃথিবীতে এই ধরনের সংযোজন সম্ভব না হইলেও নিউক্লীয় সংযোজনের ফলেই সূর্য এবং অন্যান্য নক্ষত্রে বিপুল পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয়। সূর্যের অভ্যন্তরে তাপমাত্রা প্রায় দুই কোটি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড। সুতরাং এই সুউচ্চ তাপমাত্রায় নিউক্লীয় সংযোজন সংঘটিত হইতে পারে। বিজ্ঞানী বেথের (Bethe)

মতে ঐ তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াসগুলি সংযোজিত হইয়া হিলিয়াম নিউক্লিয়াস গঠিত করে এবং এই সময় প্রচুর পরিমাণে শক্তি মুক্ত হয়। এই প্রক্রিয়ায় ${}_6C^{12}$ এবং ${}_7N^{14}$ নিউক্লিয়াসগুলি নিউক্লীয় অনুঘটক হিসাবে কাজ করে। বেথে যে বিক্রিয়া পদ্ধতি প্রস্তাব করেন তাহা নিম্নরূপ :—

$${}_6C^{12}+{}_1H^1\rightarrow{}_7N^{13}+\text{শক্তি}$$
$${}_7N^{13}\rightarrow{}_6C^{13}+{}_1e^{\circ}$$
$${}_6C^{13}+{}_1H^1\rightarrow{}_7N^{14}+\text{শক্তি}$$
$${}_7N^{14}+{}_1H^1\rightarrow{}_8O^{15}+\text{শক্তি}$$
$${}_8O^{15}\rightarrow{}_7N^{15}+{}_1e^{\circ}$$
$${}_7N^{15}+{}_1H^1\rightarrow{}_6C^{12}+{}_2He^4$$

উপরের সমীকরণগুলিকে যোগ করিলে

$$4[{}_1H^1]\rightarrow{}_2He^4+2[{}_1e^{\circ}]+\text{শক্তি}$$

স্পষ্টতঃই এই উপরের বিক্রিয়াগুলি সংহত চক্রে (closed cycle) সংঘটিত হয়। এই সংহত চক্রের নাম দেওয়া হয় **কার্বন-নাইট্রোজেন চক্র** (carbon-nitrogen cycle)। এই নিউক্লীয় সংযোজনের ফলে সূর্য্য হইতে প্রতিনিয়ত নির্দিষ্ট পরিমাণ ভর লয় প্রাপ্ত হইতেছে। সুতরাং আশংকা জাগিতে পারে যে সূর্য ভরশূন্য হইলে আর কোন শক্তি বিকিরণ করিতে পারিবে না এবং পৃথিবীতেও আর কেহ জীবনধারণ করিতে পারিবে না। এই আশংকা অমূলক, কারণ সূর্যে এখনও যে পরিমাণ ভর আছে তাহা আরও কয়েক কোটি বৎসর সূর্যকে বাঁচাইয়া রাখিতে পারিবে। সূর্যের অভ্যন্তরে তাপমাত্রা প্রচণ্ড বলিয়া সংযোজন বিক্রিয়া স্বাভাবিক ভাবেই সংঘটিত হয়। পৃথিবীতে এই প্রচণ্ড তাপমাত্রার সাধারণভাবে ব্যবস্থা করা অসম্ভব। কিন্তু পারমাণবিক বোমা ফাটাইলে যে প্রচণ্ড তাপমাত্রার উদ্ভব ঘটে সেই তাপমাত্রায় একটি ডয়টেরন (${}_1H^2$) আর একটি ডয়টেরনের সহিত সংযোজিত হইয়া একটি ট্রাইটন (${}_1H^3$) এবং একটি প্রোটন উৎপন্ন করে। এই সংযোজনের সময় প্রচুর পরিমাণে শক্তি মুক্ত হয়।

$${}_1H^2+{}_1H^2\rightarrow{}_1H^3+{}_1H^1+\text{শক্তি}$$

এই নীতি অবলম্বন করিয়া হাইড্রোজেন বোমা তৈয়ারী করা হয়। হাইড্রোজেন বোমার ধ্বংসাত্মক ক্ষমতা পারমাণবিক বোমার তুলনায় অনেক বেশী।

বর্তমানে নিউক্লীয় সংযোজন বিষয়ে প্রচুর পরিমাণে গবেষণা হইতেছে।

5.11. মহাজাগতিক রশ্মি (Cosmic rays) : 1900 খ্রীষ্টাব্দে উইলসন্, এলস্টার প্রমুখ বিজ্ঞানীরা লক্ষ্য করেন যে কোন আহিত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রকে ভালো ভাবে অন্তরিত করিয়া রাখিলেও যন্ত্রটির আধানের পরিমাণ সময়ের সহিত আস্তে আস্তে কমিয়া যাইতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে যন্ত্রটি হইতে অল্প হারে তড়িৎমোক্ষণ ঘটিতেছে। কিন্তু তড়িৎমোক্ষণের জন্য বায়ুতে আয়নের অবস্থিতি দরকার। তাঁহারা প্রস্তাব করেন যে ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে নির্গত তেজস্ক্রিয় রশ্মি বায়ুকে আয়নিত করিতেছে। 1903 খ্রীষ্টাব্দে রাদারফোর্ড এবং কুক আহিত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটিকে সীসার পুরু আবরণের ভিতর রাখিয়াও দেখিলেন যে পূর্বাপেক্ষা কম হারে হইলেও যন্ত্রটি হইতে তড়িৎ মোক্ষণ ঘটিতেছে। 1910 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী গ্নকেল বেলুনের সাহায্যে আহিত তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রটিকে প্রায় পাঁচহাজার মিটার পর্যন্ত বিভিন্ন উচ্চতায় তুলিয়া তড়িৎ-মোক্ষণের হার পর্যবেক্ষণ করেন এবং সবিস্ময়ে লক্ষ্য করেন যে ভূপৃষ্ঠ হইতে উপরে উঠিলে তড়িৎ-মোক্ষণের হার বাড়িয়া যাইতেছে। পরবর্তীকালে দশ হাজার মিটার উচ্চতাতেও পরীক্ষাটি করিয়া একই ফল পাওয়া যায়। ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে উচ্চতার সহিত তড়িৎ-মোক্ষণের হার বৃদ্ধি কখনই ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত তেজস্ক্রিয় পদার্থের জন্য ঘটিতে পারে না। সঙ্গত কারণেই তাঁহারা সিদ্ধান্ত করেন যে বহির্বিশ্ব হইতে তীব্র ভেদনক্ষম রশ্মি চারিদিক হইতে পৃথিবীর উপরে আসিয়া পড়িতেছে এবং আহিত তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটাইতেছে। বহির্বিশ্বে মহাজগতের কোন স্থানে এই রশ্মির উৎসস্থল বলিয়া এই রশ্মির নাম দেওয়া হয় **মহাজাগতিক রশ্মি**।

বিভিন্ন পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হয় যে, মহাজাগতিক রশ্মির ভেদনক্ষমতা অত্যন্ত বেশী। এই রশ্মি অনায়াসে সুবিস্তৃত বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া ভূ-পৃষ্ঠে আসিয়া পৌঁছায়। মহাজাগতিক রশ্মির ভেদনক্ষমতা এত বেশী যে, ছয়শ মিটার জলের নীচেও ঐ রশ্মির অস্তিত্ব অনুভব করা যায়। (মহাজাগতিক রশ্মির আনুষঙ্গিক শক্তি 10^{17} ইলেকট্রন ভোল্ট পর্যন্ত হইয়া থাকে)। পরীক্ষার সাহায্যে আরও জানা যায় যে মহাজাগতিক রশ্মি দিবারাত্রি সকল সময়েই বায়ুকে আয়নিত করিয়া থাকে। বিভিন্ন বিজ্ঞানী পরীক্ষা করিয়া আরও লক্ষ্য করেন যে, বিভিন্ন ভূ-চুম্বকীয় অক্ষাংশে (geomagnetic latitude) রশ্মিগুলির তীব্রতা বিভিন্ন হইয়া থাকে। উচ্চ চৌম্বক অক্ষাংশে এই রশ্মির তীব্রতা বেশী এবং নিরক্ষরেখা বরাবর তীব্রতা ন্যূনতম হইয়া থাকে। পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা মহাজাগতিক রশ্মি প্রভাবিত হয় বলিয়া প্রমাণিত হয় যে, মহাজাগতিক রশ্মিগুলি উচ্চ শক্তি সম্পন্ন নির্দিষ্ট ধরনের আহিত কণিকার

সমষ্টি। পরীক্ষার সাহায্যে আরও জানা যায় যে, যে কোন উচ্চতায় এবং যে কোন অক্ষাংশে পশ্চিমদিক হইতে আগত রশ্মির তীব্রতা পূর্ব দিক হইতে আগত রশ্মির তীব্রতা অপেক্ষা বেশী। এই ঘটনা প্রমাণ করে যে মহাজাগতিক রশ্মিতে ধনাত্মক আধানে আহিত কণিকা বিশেষ ভাবে বর্তমান।

বিভিন্ন সমীক্ষার মাধ্যমে জানা যায় যে, বহির্বিশ্ব হইতে যে মহাজাগতিক রশ্মি পৃথিবীর আবহমণ্ডলে প্রবেশ করে তাহা প্রধানত ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত নিউক্লিয়াসের সমষ্টি। পৃথিবীর আবহমণ্ডলে যে মহাজাগতিক রশ্মি আসিয়া পেঁীছায় তাহাকে **প্রাথমিক মহাজাগতিক রশ্মি** (primary cosmic ray) বলা হয়। প্রাথমিক মহাজাগতিক রশ্মিতে প্রধানত প্রোটন, তারপরেই α-কণা এবং অল্পসংখ্যক কার্বন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, আয়রন ইত্যাদি মৌলের নিউক্লিয়াস বর্তমান থাকে। প্রাথমিক রশ্মি বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করিলে ঐ রশ্মির উচ্চশক্তি সম্পন্ন কণাগুলির সহিত বায়ুমণ্ডলে অবস্থিত পারমাণবিক নিউক্লিয়াসের সংঘাত ঘটে এবং ইহার ফলে দ্রুতগতি সম্পন্ন বিভিন্ন ধরনের কণিকার সৃষ্টি হয়। কণিকাগুলির মধ্যে পজিট্রন ও মেসনের নাম বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। সংঘাতের ফলে তীব্র ভেদনক্ষম গামা রশ্মিও নির্গত হয়। প্রাথমিক রশ্মির সহিত বায়ুমণ্ডলে পারমাণবিক নিউক্লিয়াসের সংঘাতের ফলে যে সমস্ত উচ্চগতি সম্পন্ন কণিকা এবং তীব্র ভেদনক্ষম গামা রশ্মির সৃষ্টি হয় তাহাদের সমবায়কে **গৌণ মহাজাগতিক রশ্মি** (secondary cosmic rays) বলা হয়।

মহাজাগতিকরশ্মি কোথা হইতে আসিতেছে এবং কিরূপে এই রশ্মি প্রচণ্ড পরিমাণ শক্তি অর্জন করে তাহার সম্পূর্ণ সন্তোষজনক ব্যাখ্যা আজও অজ্ঞাত। বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন বিজ্ঞানী বিভিন্ন মতবাদ প্রচার করিয়াছেন।

5.12. **মেসন** (Meson) : 1935 খ্রীষ্টাব্দে জাপানের বিজ্ঞানী য়ুকাওয়া (Yukuwa) নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্ব ব্যাখ্যা করার জন্য তত্বগতভাবে ভবিষ্যৎবাণী করেন যে এই মহাবিশ্বে নিশ্চয় আরও একটি মূল কণা আছে। এই মূল কণা ইলেকট্রন অপেক্ষা প্রায় দু'শ গুণ ভারী কিন্তু ইলেকট্রনের সমান আধান বিশিষ্ট হইবে। 1937 খ্রীষ্টাব্দে অ্যানডারসন ও নেডারমেয়ার মহাজাগতিক রশ্মির মধ্যে এই ধরনের কণিকার সন্ধান পান। এই ধরনের কণিকার নাম দেওয়া হয় **মেসন**। মহাজাগতিক রশ্মির মধ্যে পাই-মেসন (π-meson) ও মিউ-মেসন (μ-meson) এই দুই ধরনের মেসনকে বিশেষভাবে দেখিতে পাওয়া যায়।

π-মেসন :—π-মেসন ধনাত্মক, ঋণাত্মক অথবা আধান শূন্য হইতে পারে। ইলেকট্রনের ভর m_e ধরা হইলে আধানযুক্ত π-মেসনের ভর 273 m_e এবং আয়ুষ্কাল 2.6×10^{-8} সেকেণ্ড হইয়া থাকে ; আধান শূন্য π-মেসনের ভর 262 m_e এবং আয়ুষ্কাল 2×10^{-14} সেকেণ্ড হয়।

প্রাথমিক মহাজাগতিক রশ্মি বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করিলে নিউক্লীয় বিক্রিয়ার ফলে বিভিন্ন ধরনের π-মেসন উৎপন্ন হয়। ধনাত্মক π^+-মেসনের ক্ষয়ের ফলে ধনাত্মক μ^+ মেসনের সৃষ্টি হয় এবং μ^+-মেসন হইতে ধনাত্মক ইলেকট্রন অর্থাৎ পজিট্রনের উদ্ভব ঘটে।

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+ \text{ (পজিট্রন)}$$

অনুরূপভাবে ঋণাত্মক π^--মেসন হইতে μ^--মেসনের এবং μ^--মেসন হইতে ইলেকট্রন উৎপন্ন হয়।

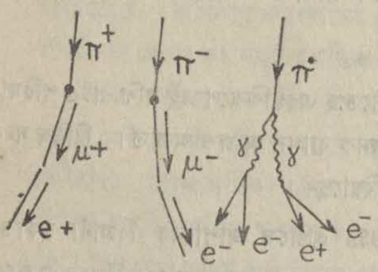
$$\pi^- \rightarrow \mu^- \rightarrow e^-$$

আধানশূন্য π°-মেসনের ক্ষয়ের ফলে দুইটি গামা রশ্মি ফোটন উৎপন্ন হয় এবং প্রত্যেকটি ফোটন হইতে একজোড়া ইলেকট্রন-পসিট্রনের উৎপত্তি হয়।

$$\pi^\circ \rightarrow \gamma + \gamma$$

5ছনং চিত্রে উপরোক্ত ঘটনাবলীকে দেখান হইয়াছে।

μ-মেসন ধনাত্মক বা ঋণাত্মক হইতে পারে এবং উহার ভর 207 m_e এবং আয়ুষ্কাল 2×10^{-6} সেকেণ্ড হইয়া থাকে। সুতরাং μ-মেসনগুলি অস্থায়ী হইলেও π-মেসনের তুলনায় তাহারা অনেক বেশী স্থায়ী।



চিত্র—5 ছ

মহাজাগতিক রশ্মির ভিতরে আরো বিভিন্ন ধরনের মেসন আবিষ্কৃত হইয়াছে। উদাহরণ হিসাবে K° মেসন (ভর 975 m_e), $K^\pm$-মেসন (ভর 966 m_e) ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে।

প্রশ্নাবলী

1. তেজস্ক্রিয়তা কাহাকে বলে এবং ইহা কিরূপে আবিষ্কৃত হয় তাহা লিখ। তেজস্ক্রিয় বিবরণের প্রকৃতিগত বৈশিষ্ট্য লিখ। [State what is meant by radicactivity and how it was discovered. Write down the important characteristics cf radicactive radiations.]

2. পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে তিন ধরনের বিকিরণ নির্গত হয়। [Prove with the help of an experiment that three distinct types of radiations emanate from a radioactive substance.]

3. তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে কি কি রশ্মি নির্গত হয়? তাহাদের মুখ্য ধর্মগুলি লিখ। [What are the different types of rays emanating from radioactive substances? Mention their important properties.]

4. তেজস্ক্রিয় ক্ষয় বলিতে কি বুঝায়? তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের সূত্রটি লিখ এবং চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু কাহাকে বলে? [What is understood by radioactive decay? State the law of radioactive disintegration and explain the same diagramatically. What is 'half-life' of a radioactive substance?]

5. তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু বলিতে কি বোঝায়? তেজস্ক্রিয় ধ্রুবক এবং অর্ধায়ুর মধ্যে সম্পর্ক বাহির কর। [What is meant by 'half-life' of a radioactive substance? Establish the relationship between radioactive constant and 'half-life'.]

6. কৃত্রিম মৌলান্তর কাহাকে বলে? কৃত্রিম মৌলান্তর বিষয়ে রাদারফোর্ডের পরীক্ষার বর্ণনা দাও। [What is artificial transmutation? Describe Rutherford's experiment on artificial transmutation.]

7. তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক কাহাকে বলে? তাহারা কি কাজে লাগে? [What are radio-isotopes? State their uses.]

8. ভর ও শক্তির সমতুল্যতা বিষয়ে সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ। [Write a short note on mass-energy equivalence.]

9. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ:—(a) নিউক্লীয় বিভাজন, (b) নিউক্লীয় সংযোজন, (c) মেসন। [Write short notes on (a) nuclear fission, (b) nuclear fusion and (c) meson.]

10. মহাজাতিক রশ্মির উপর সংক্ষিপ্ত রচনা লিখ। [Write a short essay on cosmic rays.]

কম্পন ও তরঙ্গ-বিজ্ঞান

(Vibrations & Waves)

প্রথম অধ্যায়

সরল দোলগতি

(Simple Harmonic motion)

1-1. পর্যাবৃত্ত গতি (Periodic motion) **:** নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে কোন নির্দিষ্ট পথে বস্তুর গতির পুনরাবৃত্তি ঘটিতে থাকিলে সেই গতিকে **পর্যাবৃত্ত গতি** বলা হয়। উপরোক্ত পথকে একবার পরিক্রমা করিতে যে সময় লাগে তাহাকে **পর্যায় কাল** (time period) বলে।

স্বর্যের চারিদিকে পৃথিবী ঘুরিয়া থাকে এবং একবার সম্পূর্ণভাবে ঘুরিতে এক বৎসর সময় লাগে। এক বৎসর পরপর এই গতির পুনরাবৃত্তি ঘটে। স্থতরাং ইহা **চক্রায়িত** (rotatory) **পর্যাবৃত্ত গতির** উদাহরণ।

এই গতির পর্যায় কাল এক বৎসর। অনুরূপে, চাঁদ পৃথিবীর চারিদিকে ঘুরিতে থাকে। ইহাও চক্রায়িত পর্যাবৃত্ত গতির উদাহরণ। সরল দোলকের গতি, স্বর-শলাকার কম্পন ইত্যাদি মোটামুটিভাবে সরল রেখা অবলম্বন করিয়া সংঘটিত হয় এবং নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে উহাদের গতির পুনরাবৃত্তি ঘটে। সেইজন্য উহারা রৈখিক (linear) পর্যাবৃত্ত গতির উদাহরণ।

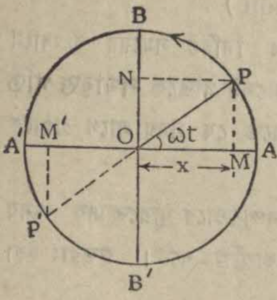
1-2. সরল সমঞ্জস গতি বা সরল দোলগতি (Simple Harmonic Motion বা S.H.M.) **:** পর্যাবৃত্ত গতির ক্ষেত্রে ত্বরণ সরণের সমানুপাতিক এবং সর্বদাই সাম্যাবস্থান (mean position of rest) অভিমুখী হইলে সেই গতিকে **সরল সমঞ্জস গতি বা সরল দোল গতি** বলা হয়। গতি সম্পন্ন বস্তুটির সাম্যাবস্থান হইতে উহার সরণ মাপা হয়। স্বর শলাকার বাহুর কম্পন, সরল দোলকের গতি ইত্যাদি সরল দোল গতির উদাহরণ।

সরল দোলগতির বৈশিষ্ট্য : (i) সরল দোল গতি একটি বিশেষ ধরনের পর্যাবৃত্ত গতি। যে কোন সরল দোলগতি পর্যাবৃত্ত গতি, কিন্তু সকল পর্যাবৃত্ত গতি সরল দোলগতি নহে।

(ii) সরল দোলগতি সম্পন্ন বস্তুকণার ত্বরণ যে কোন মুহূর্তে উহার সরণের সমানুপাতিক হইবে। বস্তুকণার সাম্যাবস্থান হইতে উহার সরণ মাপা হয়।

(iii) সরল দোলগতির ক্ষেত্রে বস্তুকণার ত্বরণ সর্বদাই সাম্যাবস্থানের অভিমুখী হইবে।

1-3. সরল দোলগতির জ্যামিতিক প্রকাশ (Geometrical representation of a Simple Harmonic Motion) : মনে কর, P বিন্দুটি সমহার কৌণিক বেগে $ABA'B'$ বৃত্তপথে তীরচিহ্নের অভিমুখে ঘুরিতেছে (চিত্র 1ক)। সমহার কৌণিক বেগের পরিমাণ 'ω', বৃত্তপথের ব্যাসার্দ্ধ 'a', P বিন্দুর প্রাথমিক অবস্থান A এবং t সময়ের পরে উহার অবস্থান P বিন্দুতে হইলে, $\angle POA = \omega t$ হইবে। AOA'-এর উপর PM লম্ব টানা হইল। প্রমাণ করা যায় যে, অঙ্কিত লম্বের পাদ বিন্দু M সরল দোলগতি নির্বাহ করে। আলোচিত বৃত্তটিকে **নির্দেশ-বৃত্ত** (Circle of reference) এবং বৃত্তপথে সঞ্চরণমান বিন্দুটিকে **নির্দেশ-কণা** (Point of reference) বলা হইয়া থাকে। P বিন্দুটি B বিন্দু অভিমুখে চলিতে থাকিলে M বিন্দুটি O বিন্দু অভিমুখে ধাবিত হইবে এবং P বিন্দুটি B বিন্দুতে পৌছাইলে M বিন্দূটি O বিন্দুতে পৌছাইবে। নির্দেশ বিন্দুটি যথাক্রমে A', P', B' এবং A বিন্দুতে আসিয়া পৌছাইলে অঙ্কিত লম্বের পাদবিন্দু A', M', O এবং A স্থান দখল করিবে। সুতরাং P বিন্দুটি বৃত্তপথে ঘুরিতে থাকিলে M বিন্দুটি ব্যাস বরাবর O বিন্দুর দুই পাশে সঞ্চারিত হইতে থাকিবে। নির্দেশ-বিন্দুর পর্যায় কাল নির্দিষ্ট বলিয়া M বিন্দুর গতির পর্যায়কালও নির্দিষ্ট হইবে। সুতরাং M বিন্দুর গতিকে পর্যাবৃত্ত গতি বলা যাইতে পারে। এখন প্রমাণ করিতে হইবে যে, যে কোন মুহূর্তে M বিন্দুর ত্বরণ O বিন্দুর প্রতি উদ্দিষ্ট এবং উহার সরণের সহিত সমানুপাতিক। সেক্ষেত্রে M বিন্দুর গতি সরল দোলগতি বিশিষ্ট হইবে। দূরক (radius vector) OP যদি X-অক্ষের সহিত ωt কোণ উৎপন্ন করে এবং O বিন্দু হইতে M বিন্দুর সরণকে x দ্বারা সূচিত করা হয় তখন



চিত্র নং 1 ক

$$x = OM = OP \cos \omega t = a \cos \omega t$$

P বিন্দুটি বৃত্তপথে ঘুরিতেছে বলিয়া উহার উপর PO বরাবর অভিকেন্দ্র ত্বরণ ক্রিয়া করিবে। অভিকেন্দ্র ত্বরণের পরিমাণ v^2/a হইলে AO বরাবর ত্বরণের বিশ্লেষিত অংশ $= \frac{v^2}{a} \cos POM = \frac{v^2}{a} \cos \omega t = \frac{v^2}{a} \cdot \frac{x}{a} = \frac{v^2}{a^2} x = \omega^2 x$

$=$ ঐ সময়ে M বিন্দুর ত্বরণ

সমহার কৌণিক বেগের ক্ষেত্রে ω-এর মান নির্দিষ্ট। সেক্ষেত্রে M বিন্দুর ত্বরণ x অর্থাৎ সরণের সহিত সমানুপাতিক এবং মধ্য-অবস্থান O বিন্দুর প্রতি উদ্দিষ্ট।

অতএব, M বিন্দুর গতিকে সরল দোলগতি বলা যাইতে পারে। অনুরূপভাবে প্রমাণ করা যাইতে পারে যে, BB'এর উপর অঙ্কিত অভিলম্বের পাদবিন্দু N-এর গতিও সরল দোলগতি সম্পন্ন হইবে।

সুতরাং কোন বিন্দু বৃত্তপথে সমহার কৌণিকবেগে ঘুরিতে থাকিলে ঐ বিন্দু হইতে বৃত্তের ব্যাস বরাবর অঙ্কিত অভিলম্বের পাদবিন্দু সরল দোলগতি সম্পন্ন করিবে।

উপরের চিত্রে M বিন্দুর সরণ যে কোন সময়ে x হইলে,

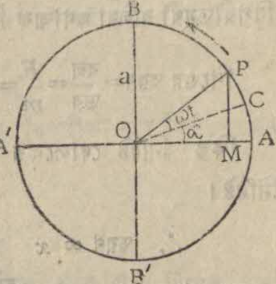
$$x = a \cos \omega t$$

এবং, t সময়ে N বিন্দুর সরণ y হইলে,

$$y = a \sin \omega t.$$

উপরের সমীকরণ দুইটি সরল দোলগতির গাণিতিক প্রকাশ।

এইক্ষেত্রে সময়ের গণনার শুরুতে নির্দেশ বিন্দুর প্রারম্ভিক অবস্থান প্রমাণ অবস্থানের সহিত অভিন্ন ছিল। কিন্তু মনে কর যখন $t=0$, সেই সময় C বিন্দুটি নির্দেশ বিন্দুর অবস্থান সূচিত করিতেছে (চিত্র 1খ)। t সময় পরে নির্দেশ বিন্দুর অবস্থান P বিন্দুতে হইলে,



চিত্র নং 1 খ

$$\angle POA = \angle POC + \angle COA = \omega t + \alpha$$

M বিন্দুর সরণ $OM = x$ হইলে

$$x = OM = OP \cos POM = a \cos (\omega t + \alpha)$$

অনুরূপভাবে প্রমাণ করা যাইতে পারে যে

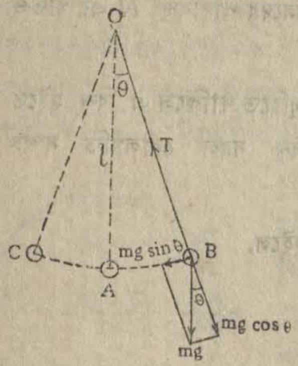
$$y = a \sin (\omega t + \alpha)$$

সময়ের গণনার শুরুতে বস্তুকণার যে দশা থাকে তাহাকে **প্রারম্ভিক দশা** বা 'ইপক' (epoch) বলা হয়। উপরের ক্ষেত্রে α প্রারম্ভিক দশা সূচিত করিতেছে।

1-4. সরল দোলগতির উদাহরণ: দৈনন্দিন জীবনে সরল দোলগতির বহু ঘটনা লক্ষ্য করিয়া থাকি। নিম্নে কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হইল:

(a) **সরল দোলকের গতি** (Motion of a simple pendulum): 1গ নং চিত্রে একটি সরল দোলক দেখানো হইয়াছে। দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য 'l' এবং দোলক পিণ্ডের ভর 'm' ধরা হইল। প্রমাণ করা যায় যে দোলনের বিস্তার কম হইলে সরল দোলকের গতি সরল দোলগতি হইবে। দোলক-পিণ্ডটিকে সামান্য

পাশে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে দোলকটি দুলিতে থাকিবে। দোলক পিণ্ডটি A অবস্থানে থাকিলে উহার ওজন mg উল্লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করিবে। OB এবং ইহার অভিলম্বের অভিমুখে ওজনের উপাংশ যথাক্রমে $mg \cos \theta$ এবং $mg \sin \theta$ হইবে। OB বরাবর উপাংশ $mg \cos \theta$ সুতার টান T-কে প্রশমিত করিবে এবং $mg \sin \theta$ উপাংশটি BA অভিমুখে ক্রিয়া করিয়া দোলক পিণ্ডটিকে প্রাথমিক অবস্থানে আনিবার চেষ্টা করিবে।



চিত্র নং 1 গ

∴ পিণ্ডটির উপর ক্রিয়াশীল বল,

$$F = -mg \sin \theta = -mg\, \theta$$
$$= -mg\, x/l$$

[বিস্তার কম বলিয়া $\sin \theta = \theta = \frac{AB}{OA} = \frac{x}{l}$. তাছাড়া ক্রিয়াশীল বল সরণের বিপরীতমুখী বলিয়া ঋণাত্মক চিহ্ন দেওয়া হইয়াছে।]

$$\text{পিণ্ডের ত্বরণ} = \frac{\text{বল}}{\text{ভর}} = \frac{F}{m} = -\frac{g}{l}.\, x$$

কিন্তু নির্দিষ্ট দোলকের ক্ষেত্রে l-এর মান এবং নির্দিষ্ট স্থানে g-এর মান নির্দিষ্ট।

∴ ত্বরণ $\propto x$

সুতরাং ত্বরণ সরণের সমানুপাতিক এবং সর্বদাই সাম্যাবস্থান অভিমুখে ক্রিয়া করে। এই কারণেই বলা যায় যে, সরল দোলক সরলদোল গতি সম্পাদিত করিয়া থাকে।

$$\text{দোলকের দোলন কাল, } T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{সরণ}}{\text{ত্বরণ}}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

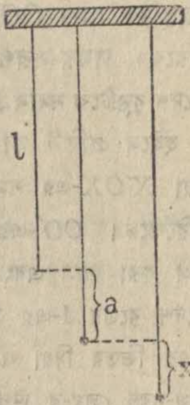
(b) **ভারযুক্ত স্থিতিস্থাপক তারের উল্লম্ব দোলন** (Vertical oscillations of a loaded elastic string) **:** দৃঢ় অবলম্বন হইতে l দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট একটি তার ঝুলানো আছে (চিত্র 1ঘ)। তারটির নীচের প্রান্তে m ভরবিশিষ্ট কোন বস্তুকে ঝুলাইলে তারটির দৈর্ঘ্য বৃদ্ধির পরিমাণ 'a' ধরা হইল। বস্তুটির ওজন উল্লম্বভাবে নীচের দিকে এবং তারের টান উপরের দিকে ক্রিয়া করে। স্পষ্টতঃই তারটিতে

বিকৃতির পরিমাণ a/l হইবে। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে হুক সূত্র হইতে আমরা পাই,

টান ∝ পীড়ন ∝ a/l

∴ টান $=\lambda . a/l$ [যেখানে $\lambda =$ একটি ধ্রুবক]

সাম্যাবস্থায়, $\lambda . a/l = mg$



চিত্র নং—1 ঘ

বস্তুটিকে নীচে সামান্য টানিয়া ছাড়িয়া দিলে বস্তুটি উল্লম্বভাবে দুলিতে থাকিবে। যে কোন মুহূর্তে বস্তুটির সরণ x ধরা হইলে বিকৃতির পরিমাণ $(a+x)/l$ হইবে। সুতরাং সুতার টানের জন্য উপরের দিকে ক্রিয়াশীল টানের পরিমাণ $=\lambda . (a+x)/l$

নীচের দিকে বস্তুটির ওজন mg ক্রিয়া করিবে।

সুতরাং উপরের দিকে ক্রিয়াশীল লব্ধি বলের পরিমাণ

$$=\lambda \frac{a+x}{l} - mg = \lambda \frac{a+x}{l} - \frac{\lambda a}{l} = \lambda \frac{x}{l} \quad \left[\because \; mg = \frac{\lambda a}{l} \right]$$

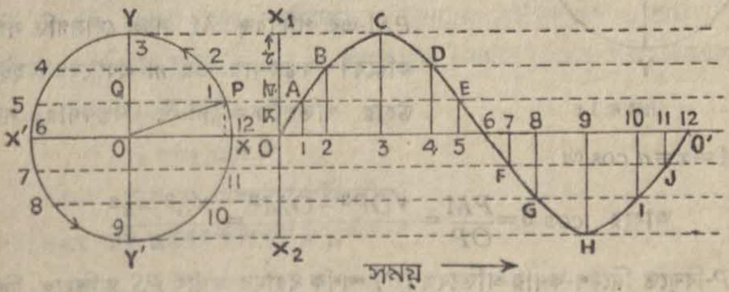
বস্তুটির ত্বরণ $= \frac{\text{বল}}{\text{ভর}} = \frac{\lambda x/l}{m} = \frac{\lambda x}{ml}$

সুতরাং ত্বরণ সরণের সমানুপাতিক এবং সরণের বিপরীত মুখে ক্রিয়া করে। সেইজন্য বস্তুটি সরল দোলগতি সম্পন্ন করিবে।

দোলনের পর্যায় কাল, $T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{সরণ}}{\text{ত্বরণ}}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

1·5. লেখচিত্রের সাহায্যে সরল দোলগতির প্রকাশ (Graphical representation of a simple harmonic motion):

1ঙ নং চিত্রের বৃত্তটি

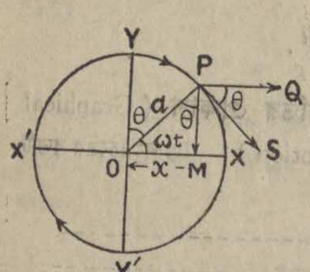


চিত্র নং 1 ঙ

নির্দেশ-বৃত্ত এবং P বিন্দুটি নির্দেশ-বিন্দু সূচিত করিতেছে। P বিন্দুটি সমহার কৌণিক

বেগে তীরচিহ্নের অভিমুখে ঘুরিতেছে। লেখচিত্রের সাহায্যে সরল দোলগতিযুক্ত কণার সরণ কিভাবে সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয় তাহা দেখাইতে হইবে। লেখচিত্রে অনুভূমিক রেখা OO' এবং উলম্ব রেখা X_1X_2 যথাক্রমে সময় এবং সরণ সূচিত করিবে। **সময়-সরণ লেখ** (time-displacement curve) আঁকিবার জন্য নির্দেশ বৃত্তটিকে সমান 12টি ভাগে ভাগ করা হইল। সরল দোলগতির পর্যায়কাল T হইলে প্রতিটি ভাগ $T/12$ সময় সূচিত করিবে। প্রতিটি বিভক্ত বিন্দুর ভিতর দিয়া $X'OX$-এর সমান্তরাল রেখা টানা হইল। লেখচিত্রে OO' সময় সূচিত করিতেছে। OO'-এর দৈর্ঘ্যকে পর্যায়কালের সমান ধরিয়া উহাকে সমান 12 ভাগে ভাগ করা হইল এবং প্রতিটি বিন্দুর ভিতর দিয়া OO'-এর উপর লম্ব টানা হইল। নির্দেশ বৃত্তের 1-এর ভিতর দিয়া অঙ্কিত অনুভূমিক রেখা, OO'-এর উপর অবস্থিত 1-এর ভিতর দিয়া অঙ্কিত অভিলম্ব A বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে। সুতরাং A বিন্দুটি সময়-সরণ লেখ-র উপর অবস্থিত থাকিবে। অনুরূপভাবে $B, C, D, \cdots$ ইত্যাদি বিন্দুগুলিকে নির্দিষ্ট করা হয়। বিভিন্ন বিন্দুগুলিকে যথাক্রমে যোগ করিলে সময়-সরণ লেখ পাওয়া যাইবে। লেখটি দেখিতে তরঙ্গের মত হইবে। স্পষ্টতঃই O'-এর পরে লেখটির পুনরাবৃত্তি ঘটিবে।

1.6. সরল দোলগতিসম্পন্ন কোন বস্তুকণার মোট শক্তি (Total energy of a particle executing S.H.M.): আমরা জানি, কোন বিন্দু বৃত্ত-পথে সমহার কৌণিক বেগে ঘুরিতে থাকিলে ঐ বিন্দু হইতে বৃত্তের ব্যাস বরাবর অঙ্কিত অভিলম্বের পাদবিন্দু সরল দোলগতি সম্পন্ন করিবে। 1চ নং চিত্রে যে কোন সময়ে নির্দেশ বিন্দুর অবস্থান P হইলে, অঙ্কিত অভিলম্ব PM-এর পাদবিন্দু M সরল দোলগতি সম্পন্ন করিবে। বস্তুকণার ভর m এবং বেগ v হইলে উহার গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2$. বস্তুকণার সরণ,



চিত্র নং 1চ

$OM = x = a\cos\omega t$

$$\text{আবার}\quad \cos\theta = \frac{PM}{OP} = \frac{\sqrt{OP^2 - OM^2}}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - x^2}}{a}$$

P-বিন্দুতে নির্দেশ-কণার গতিবেগ (V) স্পর্শক বরাবর অর্থাৎ PS অভিমুখে ক্রিয়া করিবে। OX-এর সমান্তরাল করিয়া PQ টানা হইল। সুতরাং $\angle QPS = \theta$

PQ অভিমুখে V-এর উপাংশ $= V\cos\theta = a\omega\cos\theta$ $[\because v = a\omega]$

এই অবস্থানে M বিন্দুর গতিবেগ (v) স্পষ্টতঃই $a\omega \cos\theta$ হইবে।

$$\therefore\quad v = a\omega\cos\theta = a\omega\,\frac{\sqrt{a^2-x^2}}{a} = \omega\sqrt{a^2-x^2}$$

$$= a\omega\sqrt{1-x^2/a^2} = a\omega\sqrt{1-\cos^2\omega t} = a\omega\sin\omega t$$

বস্তুকণার তাৎক্ষণিক গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}ma^2\omega^2\sin^2\omega t$

কিন্তু $\omega t = \pi/2$ হইলে গতিশক্তির পরিমাণ সর্বোচ্চ হইবে।

$\therefore$ গতিশক্তির সর্বোচ্চ মান $\frac{1}{2}ma^2\omega^2$ হইবে।

কিন্তু মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ অর্থাৎ স্থিতি ও গতিশক্তির যোগফল নির্দিষ্ট। সুতরাং গতিশক্তির মান সর্বোচ্চ হইলে সেইসময় স্থিতিশক্তির মান শূন্য হইবে।

$\therefore$ সরল গতি সম্পন্ন বস্তুকণার মোট শক্তি $= \frac{1}{2}ma^2\omega^2$

t সময়ে তাৎক্ষণিক গতিশক্তি $= \frac{1}{2}ma^2\omega^2\sin^2\omega t$

সেই সময়ে স্থিতিশক্তি = মোটশক্তি − গতিশক্তি

$$= \frac{1}{2}ma^2\omega^2 - \frac{1}{2}ma^2\omega^2\sin^2\omega t$$

$$= \frac{1}{2}ma^2\omega^2\cos^2\omega t$$

1.7. একই পর্যায়কাল এবং একই অভিমুখে ক্রিয়াশীল ভিন্ন দশা ও বিস্তার সম্পন্ন দুইটি সরল দোলগতির উপরিপাতন (Superposition of two collinear simple harmonic motions having the same periods but differing in phase and amplitude) ঃ বিশ্লেষক পদ্ধতি অথবা লেখচিত্র পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া দুইটি সরল দোলগতির উপরিপাতনের ফল কি হইবে তাহা নির্ণয় করা যাইতে পারে। আমরা এই ক্ষেত্রে কেবলমাত্র বিশ্লেষক পদ্ধতির আলোচনা করিব।

বিশ্লেষক পদ্ধতি (Analytical method) ঃ মনে কর সরল দোল গতি দুইটি X-অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করিতেছে। উহাদের কৌণিক বেগ ω, দশার পার্থক্য δ, বিস্তারের পরিমাণ যথাক্রমে a_1, a_2 হইলে এবং t সময়ে সরণের পরিমাণ যথাক্রমে x_1, x_2 হইলে আমরা পাই,

$$x_1 = a_1\cos\omega t$$

এবং $$x_2 = a_2\cos(\omega t + \delta)$$

ঐ সময়ে লব্ধি সরণের পরিমাণ x হইলে

$$x = x_1 + x_2 = a_1\cos\omega t + a_2\cos(\omega t+\delta)$$

$$= a_1\cos\omega t + a_2\cos\omega t\cos\delta - a_2\sin\omega t\sin\delta$$

$$= (a_1 + a_2\cos\delta)\cos\omega t - a_2\sin\delta\sin\omega t$$

ধর, $R \cos \phi = a_1 + a_2 \cos \delta$

এবং $R \sin \phi = a_2 \sin \delta$

বর্গ করিয়া যোগ করিলে আমরা পাই,

$$R^2(\cos^2 \phi + \sin^2 \phi)$$
$$= a_1{}^2 + 2a_1a_2 \cos \delta + a_2{}^2 \cos^2 \delta + a_2{}^2 \sin^2 \delta$$

বা, $R^2 = a_1{}^2 + 2a_1a_2 \cos \delta + a_2{}^2$

অথবা, $R = \sqrt{a_1{}^2 + 2a_1a_2 \cos \delta + a_2{}^2}$

আবার, $\tan \phi^{a_2} = \frac{a_2 \sin \delta}{a_1 + a_2 \cos \delta}$

অথবা, $\phi = \tan^{-1} \frac{a_2 \sin \delta}{a_1 + a^2 \cos \delta}$

উপরের মানগুলি বসাইলে আমরা পাই,

$x = R \cos \phi \cos \omega t - R \sin \phi \sin \omega t = R \cos (\omega t + \phi)$

স্থতরাং লব্ধি গতিও একই পর্যায় কাল কিন্তু ভিন্ন দশা বিশিষ্ট সরল দোলগতি হইবে।

বিশেষ ক্ষেত্র (Special cases):

(i) মনে কর $\delta = 0$; সেক্ষেত্রে $R = a_1 + a_2$ এবং $\phi = 0$

$\therefore \quad x = (a_1 + a_2) \cos \omega t$

$a_1 = a_2 = a$ হইলে, $x = 2a \cos \omega t$

(ii) $\delta = \frac{\pi}{2}$ হইলে $R = \sqrt{a_1{}^2 + a_2{}^2}$ এবং $\phi = \frac{\pi}{4}$.

সেক্ষেত্রে, $x = \sqrt{a_1{}^2 + a_2{}^2} \cos (\omega t + \pi/4)$

$= \sqrt{2a} \cdot \cos (\omega t + \pi/4)$ [যখন $a_1 = a_2 = a$

(iii) $\delta = \pi$ হইলে, $R = a_1 \sim a_2$ এবং $\phi = 0$

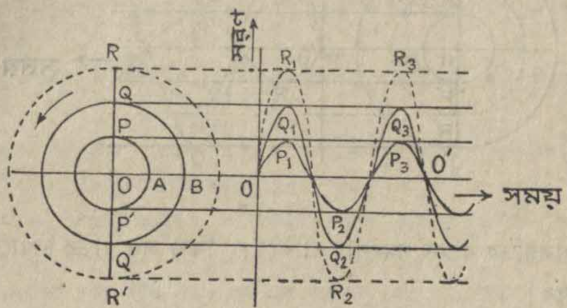
সেক্ষেত্রে $x = (a_1 \sim a_2) \cos \omega t$

$= 0$ [যখন $a_1 = a_2$]

এইরূপ ক্ষেত্রে সরল দোলগতি দুইটি পরস্পর পরস্পরকে প্রশমিত করিবে।

রৈখিক পদ্ধতিতে একই পর্যায়কাল এবং একই অভিমুখে ক্রিয়াশীল কিন্তু ভিন্ন বিস্তার সম্পন্ন দুইটি সরল দোল গতির উপরিপাতন (Superposition of two collinear Simple Harmonic Motions having the same periods but differing in amplitudes):

(a) **যখন উভয়ের দশা সমান** (When they are in same phase) : মনে কর, একই পর্যায়কাল বিশিষ্ট দুইটি সরল দোলগতির বিস্তার যথাক্রমে a ও b এবং তাহাদের দশা সমান। $OA=a$ এবং $OB=b$ ব্যাসার্ধ লইয়া দুইটি বৃত্ত আঁকা হইলে তাহারা যথাক্রমে সরল দোল গতি দুইটির নির্দেশ বৃত্ত সূচিত করিবে (চিত্র 1ছ)

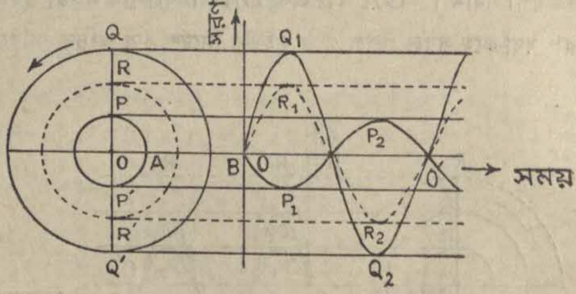


চিত্র নং 1 ছ

চিত্রের ডানদিকে $OP_1\ P_2\ P_3\ O'$ এবং $OQ_1\ Q_2\ Q_3\ O'$ যথাক্রমে গতি দুইটির সময়-সরণ লেখ। যেহেতু গতি দুইটির দশা সমান, সুতরাং কেবলমাত্র বিস্তার ছাড়া অন্য সব বিষয়ে লেখচিত্র দুইটি একই ধরনের হইবে। যে কোন মুহূর্তে গতি দুইটির তাৎক্ষণিক সরণের বীজগাণিতিক যোগ করিলে লব্ধগতির সময়-সরণ লেখচিত্র পাওয়া যাইবে। $OP+OQ=OR$ হইলে এবং OR ব্যাসার্ধ লইয়া বৃত্ত আঁকিলে বৃত্তটি লব্ধ সরল দোলগতির নির্দেশ বৃত্ত সূচিত করিবে। $OR_1\ R_2\ R_3\ O'$ হইবে লব্ধ সরল দোলগতির সময়-সরণ লেখচিত্র। স্পষ্টতই লব্ধ গতিও সরল দোলগতি হইবে এবং অন্য দুইটি গতির সহিত একই দশায় থাকিবে কিন্তু লব্ধ বিস্তারের পরিমাণ $(a+b)$ হইবে।

(b) **যখন উভয়ের দশা বিপরীত** (When they are in opposite phase) : সরল দোল গতি দুইটির বিস্তার a ও b ধরা হইল $(b>a)$ এবং উহাদের নির্দেশ বৃত্ত ও সময়-সরণ লেখ আঁকা হইল (চিত্র 1জ)। মনে রাখিতে হইবে যে উহাদের দশা বিপরীত হওয়ায় প্রথম দোলগতির সরণ যখন ধনাত্মক দিকে সর্বোচ্চ হইবে সেই সময় অপরটির সরণ ঋণাত্মক দিকে সর্বোচ্চ হইবে। তাহাদের বিস্তার বিভিন্ন। সুতরাং $OP_1\ P_2\ O'$ প্রথম গতিটির সময়-সরণ লেখ হইলে $OQ_1Q_2\ O'$ দ্বিতীয়টির সময়-সরণ লেখ সূচিত করিবে। যে কোন মুহূর্তে একটি গতির তাৎক্ষণিক সরণ হইতে অপরটির সরণকে বিয়োগ করিলে যে বিয়োগফল পাওয়া যাইবে তাহা

লব্ধগতির তাৎক্ষণিক সরণ হইবে। এইরূপে লব্ধগতির সময়-সরণ লেখ হিসাবে OR_1R_2O' পাওয়া যাইবে। লব্ধগতিও সরল দোলগতি হইবে এবং উহা বৃহত্তর



চিত্র—1 জ

বিস্তারের দোলগতির সহিত সমদশায় থাকিবে। কিন্তু লব্ধ গতির বিস্তারের পরিমাণ $(b-a)$ হইবে।

উদাহরণ 1. সরল দোলগতির পর্যায়কাল 12 সেকেণ্ড এবং বিস্তার 10 সেমি.। ধনাত্মক অভিমুখে বিস্তার সর্বোচ্চ হওয়ার পরে 14 সেকেণ্ড সময়ে সরণ নির্ণয় কর। [If the period of S. H. M. is 12 seconds and amplitude 10 cm,, what is the displacement at a time 14 seconds after a passage of the particle through its extreme positive displacement ?] [C.U.]

উ:। যখন $t=0$, বিস্তার সর্বোচ্চ। সুতরাং সরল দোলগতির সমীকরণ হইবে

$$y=a\cos\omega t=a\cos 2\pi t/T \quad [\because \omega=2\pi/T]$$

এক্ষেত্রে, $a=10$ সেমি., $T=12$ সেকেণ্ড এবং $t=14$ সেকেণ্ড।

$$\therefore \quad y=10\cos\left[\frac{2\pi}{12}\times 14\right]=10\cos\frac{7\pi}{3}=10\cos\left[2\pi+\frac{\pi}{3}\right]$$

$$=10\cos\frac{\pi}{3}=10\times\tfrac{1}{2}=5 \text{ সেমি.।}$$

2. কোন সরল দোলগতির বিস্তার 2 সেমি.। মধ্য অবস্থানে গতিবেগ 12 সেমি./সে. হইলে পর্যায়কাল বাহির কর। [The amplitude of a S. H. M. is 2 cm. Its velocity when passing through the centre of the line is 12 cm. per sec. Find the period.] [C.U.]

উঃ। গতিবেগ, $v=\omega\sqrt{a^2-x^2}$

এখানে $v=12$ সেমি./সে.; $a=2$ সেমি. এবং $x=0$

$$\therefore \quad \omega=\frac{v}{\sqrt{a^2-x^2}}=\frac{12}{\sqrt{2^2-0}}=6=\frac{2\pi}{T}$$

$$\therefore \quad T=2\pi/6=1{\cdot}047 \text{ সেকেণ্ড।}$$

প্রশ্নাবলী

1. পর্য্যাবৃত্তগতি ও সরল দোলগতি কাহাকে বলে উদাহরণের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। সরল দোল-গতির বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।

[Explain with examples what is meant by periodic motion and simple harmonic motion. State the characteristics of simple harmonic motion.]

2. সরল দোলগতির সংজ্ঞা লিখ। সরল দোলগতিকে কিরূপে জ্যামিতিক পদ্ধতিতে এবং গাণিতিক আকারে প্রকাশ করিবে ?

[Define S. H. M. How will you represent a S. H. M. geometrically and mathematically ?]

3. প্রমাণ কর যে (a) সরল দোলকের গতি এবং (b) ভারযুক্ত স্থিতিস্থাপক তারের মাধ্যমে উলম্ব দোলন সরল দোলগতির পর্য্যায়ভুক্ত। [Prove that (a) the motion of a simple pendulum and (b) vertical oscillation of a loaded elastic string fall in the category of S. H. M.]

4. সরল দোলগতির সংজ্ঞা দাও এবং লেখচিত্রের সাহায্যে সরল দোলগতিকে প্রকাশিত কর। সরলদোলগতি সম্পন্ন কোন বস্তুকণার মোটশক্তি নির্ণয় কর।

[Define S. H. M. and represent the same graphically. Find out the energy of a particle executing S. H. M.]

5. একই পর্য্যায়কাল এবং একই অভিমুখে ক্রিয়াশীল ভিন্নদশা ও বিস্তারসম্পন্ন দুইটি সরল দোলগতির উপরিপাতন ঘটিলে কি হইবে তাহা বাহির কর। গতি দুইটি বিপরীতমুখে ক্রিয়া করিলে কি হইবে ?

[Find out the result of superposition of two collinear simple harmonic motions having the same periods but differing in phase and amplitude. What will happen if they are oppositely directed ?]

6. The total energy of a particle executing a S. H. M. of period 2π sec. is 10·24 ergs and $\pi/4$ sec. after the particle passes the midpoint of the swing its displacement is $8\sqrt{2}$ cms. Calculate the amplitude of the motion and the mass of the particle.

[Ans. 16 cm. : 80 gm.]

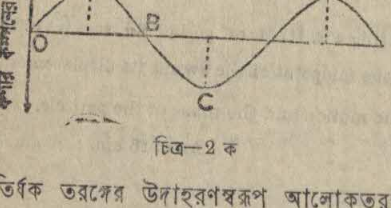
দ্বিতীয় অধ্যায়

তরঙ্গ গতি ও কম্পন

(Wave Motion and Vibration)

2.1. তরঙ্গ গতি (Wave Motion) **:** সমসত্ত্ব মাধ্যমের কোন বস্তুকণাকে সামান্য আন্দোলিত করিলে সেই আন্দোলন পরবর্তী বস্তুকণাগুলিতে সঞ্চালিত হইবে। পরবর্তী বস্তুকণাগুলি তৎপরবর্তী বস্তুকণাগুলিকে আন্দোলিত করিবে এবং এইভাবে নির্দিষ্ট গতিবেগে উপরোক্ত আন্দোলনের শক্তি (energy of disturbance) মাধ্যমের ভিতর দিয়া সঞ্চালিত হইতে থাকে। যে পদ্ধতি দ্বারা শক্তি একস্থান হইতে অন্যস্থানে সঞ্চালিত হয় তাহাকে **তরঙ্গ গতি** বলা হয়। সাধারণতঃ দুই রকমের তরঙ্গ গতি হইতে পারে। যথা—(i) **তির্যক তরঙ্গ** (transverse wave) এবং (ii) **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** (longitudinal wave)।

তির্যক তরঙ্গ : এই ধরনের তরঙ্গে তরঙ্গগতির অভিমুখের সহিত সমকোণে মাধ্যমের বস্তুকণাগুলি কম্পিত হইতে থাকে। 2ক নং চিত্রে তির্যক তরঙ্গের প্রকৃতি দেখানো হইয়াছে। তরঙ্গটি OB অভিমুখে সঞ্চালিত হইতেছে; কিন্তু বস্তুকণাগুলির কম্পন উহার সহিত সমকোণে ঘটিতেছে। A ও D বিন্দুকে তরঙ্গশীর্ষ (crest) এবং C বিন্দুকে তরঙ্গপাদ (trough) বলে। একটি জলাশয়ে ঢিল ফেলিলে যে তরঙ্গের উৎপত্তি হয় তাহা তির্যক তরঙ্গের উদাহরণ।



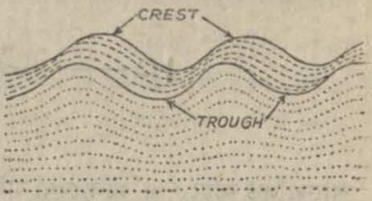
চিত্র—2 ক

তির্যক তরঙ্গের উদাহরণস্বরূপ আলোকতরঙ্গ, বেতার তরঙ্গ, তাপ তরঙ্গ ইত্যাদির উল্লেখ করা যাইতে পারে।

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ : এই ধরনের তরঙ্গে তরঙ্গগতির অভিমুখে মাধ্যমের বস্তুকণাগুলি কম্পিত হইতে থাকে। বায়ু বা অন্য মাধ্যমের ভিতর দিয়া শব্দের সঞ্চালন অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের উদাহরণ।

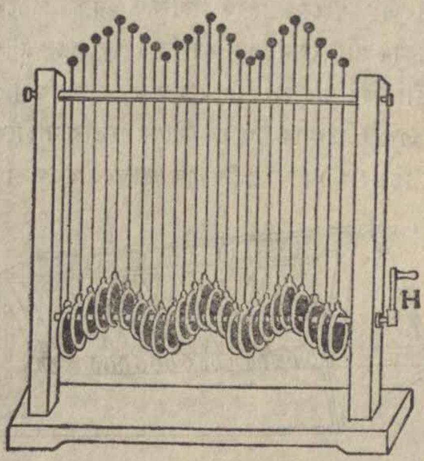
2-2. তির্যক তরঙ্গের উদাহরণ (Illustrations of transverse waves) **:** (i) স্থির জলাশয়ে ঢিল ফেলিলে যে ধরনের তরঙ্গের উদ্ভব হয় তাহা তির্যক তরঙ্গের প্রকৃষ্ট উদাহরণ। ইহা পরীক্ষা করিবার জন্য জলের উপরে কয়েক

টুকরা কর্ক রাখিয়া একটি ঢিল ছোঁড়া হইল। ইহার ফলে জলের মধ্যে তরঙ্গের সৃষ্টি হইল এবং তরঙ্গগুলি কিনারার দিকে ছড়াইয়া পড়িবে। এই সময় দেখা যাইবে যে কর্কগুলি একই স্থানে থাকিয়া উপর-নীচে আন্দোলিত হইতেছে। ইহা প্রমাণ করে যে জলের কণাগুলি তরঙ্গ-গতির অভিমুখের সহিত সমকোণে আন্দোলিত হইতেছে। সুতরাং ইহা তির্যক তরঙ্গের উদাহরণ। 2খ নং চিত্রে জলের মধ্যে যে তরঙ্গের উদ্ভব হয় তাহা দেখানো হইয়াছে।



চিত্র—2 খ

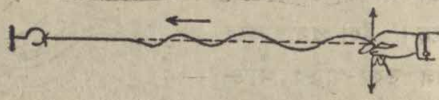
(ii) পাওয়েল (Powell)-কর্তৃক আবিষ্কৃত যন্ত্রের সাহায্যে তির্যক তরঙ্গের ধরন খুব ভালো ভাবে বুঝানো যাইতে পারে। একটি অনুভূমিক দণ্ডের সহিত কতকগুলি আংটা আটকানো থাকে এবং এই আংটাগুলির উপরে উৎকেন্দ্রিকভাবে (eccentri-



চিত্র—2 গ

cally) একটি করিয়া দণ্ড যুক্ত করা হয়। অনুভূমিক দণ্ডটিকে হাতল Hএর সাহায্যে ঘুরাইলে দণ্ডগুলি উপরের ফ্রেমের ভিতর দিয়া উল্লম্ব ভাবে উঠানামা করিতে পারে। দণ্ডগুলির উপরে একটি করিয়া ছোট লোহার বল আটকানো থাকে। যে কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে বলগুলির উপরিভাগকে কাল্পনিক রেখাদ্বারা সংযুক্ত করিলে ইহাকে তির্যক তরঙ্গের মত দেখাইবে। সময়ের সহিত তরঙ্গটি অনুভূমিক ভাবে সঞ্চালিত হইবে ; কিন্তু দণ্ডগুলি উল্লম্ব ভাবে উঠানামা করিতে থাকিবে।

(iii) একটি লম্বা রবারের দড়ির সাহায্যেও তির্যক তরঙ্গের গঠন বুঝানো যাইতে পারে। দড়িটির একপ্রান্ত আটকাইয়া অপর প্রান্তকে দৈর্ঘ্যের সহিত সমকোণে

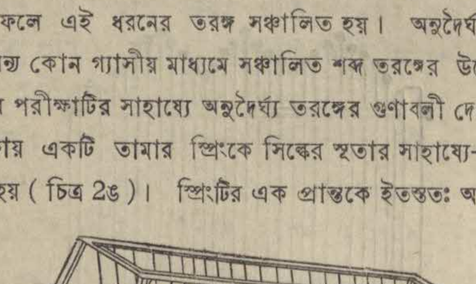


চিত্র – 2 ঘ

আন্দোলিত করিতে থাকিলে দেখা যাইবে যে তরঙ্গটি দড়িটির দৈর্ঘ্য বরাবর সঞ্চালিত হইতেছে; কিন্তু দড়িটির বিভিন্ন অংশগুলি দৈর্ঘ্যের সহিত সমকোণে আন্দোলিত হইতেছে (চিত্র 2ঘ)। সুতরাং ইহা তির্যক তরঙ্গের উদাহরণ।

2-3. **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের উদাহরণ** (Illustrations of longitudinal waves): অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে মাধ্যমের বস্তুকণাগুলি তরঙ্গগতির অভিমুখে ইতস্ততঃ (to and fro) আন্দোলিত হইতে থাকে। পর্যায়ক্রমে মাধ্যমের ঘনীভবন ও তনুভবনের ফলে এই ধরনের তরঙ্গ সঞ্চালিত হয়। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের উদাহরণ স্বরূপ বায়ু বা অন্য কোন গ্যাসীয় মাধ্যমে সঞ্চালিত শব্দ তরঙ্গের উল্লেখ করা যাইতে পারে। নীচের পরীক্ষাটির সাহায্যে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের গুণাবলী দেখানো সম্ভব:

এই পরীক্ষায় একটি তামার স্প্রিংকে সিল্কের সুতার সাহায্যে—অনুভূমিক ভাবে ঝুলাইয়া রাখা হয় (চিত্র 2ঙ)। স্প্রিংটির এক প্রান্তকে ইতস্ততঃ আন্দোলিত করিলে



চিত্র—2 ঙ

স্প্রিংটির দৈর্ঘ্য বরাবর একটি তরঙ্গ সঞ্চালিত হইতে দেখা যাইবে। এই সময় স্প্রিং-এর পাকগুলিও তরঙ্গগতির অভিমুখে ইতস্ততঃ আন্দোলিত হইতে থাকিবে। ইহা ছাড়া আরও দেখা যাইবে যে কতকগুলি স্থানে স্প্রিং-এর পাকগুলি বেশী পরিমাণে ও কতকগুলি স্থানে অল্প পরিমাণে জমা হইয়াছে। ইহারা যথাক্রমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ঘনীভবন ও তনুভবন সূচিত করে।

2-4. **চল-তরঙ্গ** (Progressive waves): সময়ের সহিত কোন তরঙ্গ অগ্রসর হইতে থাকিলে সেই তরঙ্গকে **চল-তরঙ্গ** বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ কোন

পুষ্করিণীতে একটি ঢিল ফেলিলে যে সমস্ত তরঙ্গের সৃষ্টি হয়, সেইগুলি সময়ের সহিত পুকুরের কিনারার দিকে অগ্রসর হইতে থাকে। সুতরাং এই সমস্ত তরঙ্গগুলি চলতরঙ্গ সূচিত করে। অনুরূপভাবে বায়ু মাধ্যমে কোন কারণে শব্দের সৃষ্টি হইলে শব্দের তরঙ্গগুলি সময়ের সহিত নির্দিষ্ট গতিবেগে বায়ুমাধ্যমে সঞ্চালিত হইতে থাকে। সুতরাং এই ধরনের তরঙ্গগুলিও চলতরঙ্গের উদাহরণ। চলতরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি নীচে দেওয়া হইল :

(i) চলতরঙ্গ যে মাধ্যমের ভিতর দিয়া সঞ্চালিত হয় তাহার প্রত্যেকটি কণা পর্যায় গতি লাভ করে। মাধ্যমের বস্তুকণাগুলি তির্যকতরঙ্গের ক্ষেত্রে তরঙ্গগতির অভিমুখের সহিত সমকোণে এবং অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে তরঙ্গগতির অভিমুখে কম্পিত হইতে থাকে। বস্তুকণাগুলির কম্পাঙ্ক তরঙ্গের কম্পাঙ্কের সহিত সমান হইবে।

(ii) একক সময়ে চলতরঙ্গ যে নির্দিষ্ট দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে উহার **তরঙ্গবেগ** (wave-velocity) বলা হয়। ইহার মান মাধ্যমের ঘনত্ব ও স্থিতিস্থাপকতার উপর নির্ভরশীল।

(iii) চলতরঙ্গে বস্তুকণাগুলির কম্পনদশা তরঙ্গের বিস্তার রেখা বরাবর পরবর্তী কণাতে হস্তান্তরিত হয়।

(iv) চলতরঙ্গে মাধ্যমের কোন স্থানান্তর ঘটে না ; কিন্তু তরঙ্গমুখের অভিলম্ব বরাবর শক্তি স্থানান্তরিত হয়।

(v) চলতরঙ্গে মাধ্যমের প্রতিটি বিন্দুতে চাপ, ঘনত্ব ইত্যাদি একই ভাবে পরিবর্তিত হয়।

2-5. স্থাণুতরঙ্গ বা স্থির তরঙ্গ (Stationary waves) : কোন মাধ্যমে দুইটি একই ধরনের তরঙ্গ বিপরীত দিকে সঞ্চালিত হইতে থাকিলে স্থির তরঙ্গের উদ্ভব হয়। এই ধরনের তরঙ্গের বিশেষত্ব এই যে মাধ্যমের মধ্যে কতকগুলি বিন্দু সর্বদাই স্থির থাকিবে এবং কতকগুলি বিন্দুর সরণ সর্বোচ্চ থাকিবে। যে সমস্ত বিন্দুগুলি সর্বদাই স্থির থাকিবে তাহাদিগকে **নিস্পন্দ বিন্দু** (nodes) এবং যেগুলির সরণ সর্বদাই সর্বোচ্চ থাকে তাহাদিগকে **সুস্পন্দ বিন্দু** (anti-nodes) বলা হয়। উপযুক্ত অবস্থায় দুইপ্রান্তে আটকানো তারের ভিতর এবং অর্গান-নলের ভিতর স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি করা যাইতে পারে। স্থাণু তরঙ্গের বিষয় বিশদভাবে পরে আলোচিত হইয়াছে।

2-6. কয়েকটি প্রয়োজনীয় রাশি (Some important terms) :

সরণ (Displacement) : স্থির অবস্থান হইতে কম্পমান বস্তুকণার দূরত্বকে বস্তু কণাটির সরণ বলা হয়।

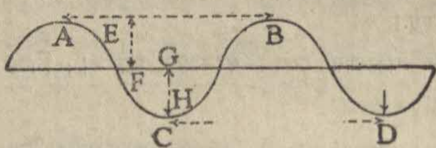
বিস্তার (Amplitude) : স্থির অবস্থান হইতে উভয় দিকের সর্বোচ্চ সরণকে কম্পমান বস্তুকণাটির **বিস্তার** বলে।

পর্যায়কাল (Time-period) : একবার স্পন্দন সম্পূর্ণ করিতে বস্তু কণাটির যে সময় লাগে তাহাকে উহার **পর্যায়কাল** বলে। ইহা সাধারণতঃ T দ্বারা সূচিত হয়।

কম্পাংক (Frequency) : বস্তুকণাটি এক সেকেণ্ডে যত বার স্পন্দিত হইবে তাহাকে উহার **কম্পাংক** বলা হয়। ইহা সাধারণতঃ n দ্বারা সূচিত হইয়া থাকে। পর্যায়কাল T হইলে $n=1/T$ হইবে।

দশা (Phase) : কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে কম্পনযুক্ত বস্তুকণার গতির অবস্থাকে **দশা** বলে এবং ইহা সেই সময়ে বস্তুকণার গতি, অবস্থান ইত্যাদি নির্দেশ করে।

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (Wave length) : কোন কম্পনের বস্তুকণা একবার স্পন্দিত হইলে স্পন্দনের জন্য উৎপন্ন তরঙ্গগুলি যে পরিমাণ দূরত্ব গমন করিবে তাহাকে



চিত্র—2 চ

তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে। তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রে দুইটি সন্নিহিত তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গ পাদের দূরত্বের পরিমাণ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য সূচিত করে। 2চ নং চিত্রে A হইতে B-এর দূরত্ব তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সমান হইবে। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে একটি ঘনীভূত ও তৎসন্নিহিত একটি তনূভূত স্তরের মোট দৈর্ঘ্য একটি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সূচিত করিবে। ইহা সাধারণত λ দ্বারা প্রকাশিত হয়।

2-7. তরঙ্গের গতিবেগ, তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাংকের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between velocity, wave length and frequency of a wave) :

তরঙ্গটির গতিবেগ V, তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং কম্পাংক n ধরা হইল। বস্তুকণাটির কম্পাংক n হওয়ার জন্য বস্তুকণাটি এক সেকেণ্ডে n বার স্পন্দিত হইবে; কিন্তু একবার স্পন্দনের ফলে তরঙ্গটি λ দূরত্বে গমন করে। সুতরাং উহা n বার স্পন্দিত হইলে সেই সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্বের পরিমাণ $n\lambda$ হইবে। কিন্তু এই পরিমাণ

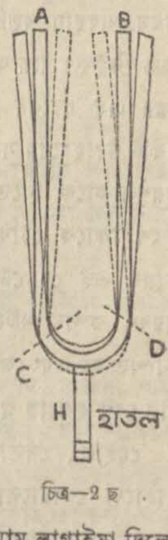
দূরত্ব তরঙ্গটি এক সেকেণ্ড সময়ে অতিক্রম করিয়াছে এবং সংজ্ঞানুসারে ইহা তরঙ্গটির গতিবেগ সূচিত করে।

$$\therefore\ V = n\lambda$$

অর্থাৎ, **গতিবেগ = কম্পাংক × তরঙ্গদৈর্ঘ্য**

বা, $\text{কম্পাংক} = \dfrac{\text{গতিবেগ}}{\text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য}}$

2-8. **সুরশলাকা** (Tuning fork): বীক্ষণাগারে শব্দ-বিজ্ঞানের বিভিন্ন পরীক্ষার জন্য সুরশলাকা ব্যবহৃত হইয়া থাকে। ইহা সাধারণতঃ ইস্পাত বা অ্যালুমিনিয়মের তৈয়ারী। ইহার উপরের অংশটি দেখিতে 'U' অক্ষরের মত এবং 'U'-এর মাঝখানে একটি গোলাকার হাতল লাগানো থাকে। সুতরাং ইহাকে দেখিতে অনেকটা হাড়িকাঠের মত। সুরশলাকার বিশেষত্ব এই যে ইহার যে-কোন বাহুকে রবার বা ফেল্টের টুকরা দিয়া সামান্য আঘাত করিলে সুরশলাকার বাহু দুইটি সরল সমঞ্জস গতিতে কাঁপিতে থাকিবে এবং একটি নির্দিষ্ট কম্পাংক-বিশিষ্ট শব্দের সৃষ্টি করে। শব্দটি একটি নির্দিষ্ট কম্পাংক-বিশিষ্ট হওয়ার জন্য সুরশলাকাকে বিশুদ্ধ সুর (pure tone)-এর স্বনক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। তাছাড়া, সুরশলাকাটিকে একবার আঘাত করিলে ইহার কম্পন অনেকক্ষণ পর্যন্ত স্থায়ী হয়। স্পন্দনের সময় সুরশলাকার বাহুদ্বয় পর্যায়ক্রমে একবার ভিতরের দিকে এবং আর একবার বাহিরের দিকে কাঁপিতে থাকে (চিত্র 2ছ)। সেই সময় A ও B বিন্দুতে কম্পন সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। কিন্তু C ও D বিন্দু মোটেই কাঁপে না। সুরশলাকাকে আঘাত না করিয়া বৈদ্যুতিক উপায়েও উহাকে স্পন্দিত করা সম্ভবপর। সুরশলাকার দৈর্ঘ্য ও আয়তনের উপর উহার কম্পাংক নির্ভর করে। সুরশলাকাটি লম্বা ও সরু হইলে উহার কম্পাংক কম এবং ছোট ও মোটা হইলে কম্পাংক বেশী হইবে। নির্দিষ্ট



চিত্র—2 ছ

কম্পাংক বিশিষ্ট সুরশলাকার যে-কোন বাহুতে কিছু পরিমাণ মোম লাগাইয়া দিলে উহার কম্পাংক কমিয়া যাইবে। বিপরীতক্রমে উহার যে কোন বাহুকে উখা (file) দিয়া সামান্য ঘষিয়া দিলে উহার কম্পাংক বাড়িয়া যাইবে; কিন্তু মনে রাখিতে হইবে যে উখা দিয়া ঘষিলে সুরশলাকার কম্পাংক স্থায়ীভাবে পরিবর্তিত হইয়া যাইবে। যদিও যে

কোন কম্পাংক-বিশিষ্ট স্বরশলাকা প্রস্তুত করা সম্ভব, তবুও বীক্ষণাগারে সাধারণভাবে যে সমস্ত স্বরশলাকা ব্যবহৃত হয় তাহাদের কম্পাংকের মান যথাক্রমে প্রতি সেকেণ্ডে 256, 288, 320, 341·3, 384, 426·6, 480, 512 হইয়া থাকে।

2-9. স্বাভাবিক কম্পন ও পরবশ কম্পন (Free vibration and forced vibration) : কোন বস্তু মুক্তভাবে কম্পিত হইতে থাকিলে তাহার একটি স্বাভাবিক পর্যায়কাল থাকে। বস্তুটির আকার, আয়তন ও ভরের উপর পর্যায়কাল নির্ভর করে। উদাহরণস্বরূপ নির্দিষ্ট কার্যকর দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট সরল দোলককে উল্লম্ব তলে দোলাইয়া দিলে উহা নির্দিষ্ট পর্যায়কালে দুলিতে থাকিবে। দোলকের পর্যায়কাল, দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য এবং অভিকর্ষজ ত্বরণের উপর নির্ভরশীল। উহাদের পরিবর্তন ঘটিলে, দোলকের পর্যায়কালও পরিবর্তিত হইবে। কোন বস্তু মুক্তভাবে কম্পিত হইতে থাকিলে সেই ধরনের কম্পনকে **স্বাভাবিক কম্পন** (free or natural vibration) বলে। অনুরূপ অবস্থায় দোলনের কম্পাঙ্ককে **স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক** (natural frequency) বলা হয়। স্বাভাবিক কম্পন তির্যক অথবা অনুদৈর্ঘ্য ধরনের হইতে পারে।

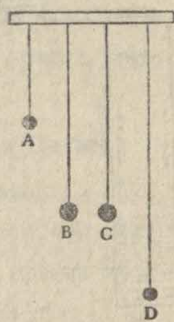
ধর, কম্পনক্ষম কোন বস্তুতে পর্যাবৃত্ত (periodic) বল প্রয়োগ করা হইল। প্রথম অবস্থায় বস্তুটি তাহার স্বাভাবিক পর্যায়কালে কম্পিত হইবার চেষ্টা করিবে ; কিন্তু কিছুক্ষণ পরে বস্তুটি পর্যাবৃত্ত বলের পর্যায়কাল অনুযায়ী কম্পিত হইতে থাকিবে। বস্তুর এই ধরনের কম্পনকে **পরবশ কম্পন** (forced vibration) বলা হয়। একটি উদাহরণের সাহায্যে ইহা আরও ভালোভাবে বুঝা যাইবে। কম্পনশীল কোন স্বরশলাকাকে হাতে ধরিয়া রাখিলে খুব মৃদু শব্দ শোনা যাইবে। কিন্তু কম্পনশীল স্বরশলাকাকে টেবিলের উপর ধরিলে নিঃসৃত শব্দ খুব জোরালো হইবে। ইহার কারণ এই যে টেবিলের সংস্পর্শে স্বরশলাকার বোঁটাটি রাখিলে সমগ্র টেবিলটিতে পরবশ কম্পন ঘটিতে থাকে। ফলে একই সময়ে বায়ুমাধ্যমের আরও বেশী অংশ কম্পিত হয় এবং জোরালো শব্দের সৃষ্টি করে। অবশ্য এই ক্ষেত্রে শব্দ-শক্তির ব্যয়ের হার বেশী হওয়ায় স্বরশলাকাটির কম্পন তাড়াতাড়ি থামিয়া যাইবে।

বেহালা, সেতার, এস্রাজ প্রভৃতি যন্ত্র হইতে নিঃসৃত স্বরকে পরবশ কম্পনের সাহায্যে জোরালো করা হয়। এই সমস্ত যন্ত্রগুলি বায়ুপূর্ণ ফাঁপা কাঠের পেটিকার উপর বসানো থাকে। যন্ত্রগুলিকে উদ্দীপ্ত করিলে তারের কম্পন কাঠের পেটিকাতে এবং অভ্যন্তরস্থ বায়ুতে সংবাহিত হয়। ফলে উহারা পরবশ কম্পনে কম্পিত হইতে থাকে এবং শব্দের প্রাবল্য বাড়িয়া যায়।

2-10. অনুনাদ (Resonance) : কম্পনক্ষম কোন বস্তুতে পর্যাবৃত্ত বল

প্রয়োগ করিলে কিছুক্ষণ পরে বস্তুটি পর্যাবৃত্ত বলের পর্যায়কাল অনুযায়ী কম্পিত হইতে থাকিবে। এই ধরনের কম্পনকে পরবশ কম্পন বলা হইয়াছে। এই সব ক্ষেত্রে কম্পনের বিস্তার সাধারণতঃ খুব বেশী হয় না। কিন্তু বস্তুটির স্বাভাবিক পর্যায়কাল প্রযুক্ত বলের পর্যায়কালের সমান হইলে স্পন্দনের বিস্তার খুব বেশী হইবে। এই ধরনের পরবশ কম্পনকে **অনুনাদ** (resonance) বলা হয়। সুতরাং অনুনাদের ক্ষেত্রে কম্পনক্ষম বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কাল প্রযুক্ত বলের পর্যায়কালের সমান হইবে এবং প্রযুক্ত বলের পরিমাণ অল্প হইলেও কম্পনের বিস্তার খুব বেশী হইবে। পরীক্ষার সাহায্যে জিনিসটি ভালোভাবে বুঝানো হইল।

অনুভূমিকভাবে অবস্থিত রবার বা ঐরূপ কোন নমনীয় কোন সূতা হইতে *A*, *B*, *C* ও *D* চারিটি দোলক ঝুলানো হইল। *B* ও *C* দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য সমান কিন্তু *A* ও *D*-এর কার্যকর দৈর্ঘ্য যথাক্রমে সর্বাপেক্ষা কম ও সর্বাপেক্ষা বেশী (চিত্র 2জ)। *B* দোলকটিকে দোলাইয়া দিলে দেখা যাইবে যে *C* দোলকটি অনতিবিলম্বে সম-বিস্তারে দুলিতে সুরু করিয়াছে। কিন্তু অপর দুইটি দোলক প্রথম অবস্থায় কিছুটা এলোমেলো ভাবে দোলন সুরু করিবে এবং অবশেষে *B* দোলকের দোলনের সহিত তাল রাখিয়া অর্থাৎ একই কম্পাঙ্কে দুলিতে থাকিবে। কিন্তু ইহাদের ক্ষেত্রে দোলনের বিস্তার তুলনাগত ভাবে খুব কম হইবে। *A*, *C* ও *D* তিনটি দোলকই পরবশ কম্পনে দুলিতে থাকিবে। কিন্তু *B* ও *C*-এর কার্যকর দৈর্ঘ্য একই হওয়ায় তাহাদের দোলনকাল একই হইবে। ফলে *C*-দোলকটিতে অনুনাদ সৃষ্টি হইবে এবং দোলনের বিস্তার খুব বেশী হইবে।



চিত্র—2 জ

2-11 অনুনাদী বাক্স (Resonance box) :

অনুনাদের নীতি অবলম্বন করিয়া এই ধরনের বাক্স তৈয়ারী করা হয়। ইহা আসলে নির্দিষ্ট আকারের ফাঁপা কাঠের বাক্স ছাড়া কিছুই নহে (চিত্র 2ঝ)। কম্পনশীল কোন সুরশলাকাকে বাক্সটির উপর বসাইয়া রাখিলে অভ্যন্তরস্থ বায়ুতে পরবশ কম্পন সুরু হইবে। অভ্যন্তরস্থ বায়ুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক সুরশলাকাটির কম্পাঙ্কের সমান হইলে অনুনাদের সৃষ্টি হইবে এবং

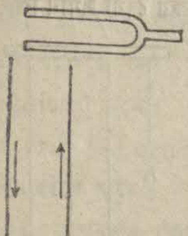

চিত্র—2 ঝ

খুব জোরালো শব্দ শোনা যাইবে। সুতরাং অনুনাদী বাক্সের ক্ষেত্রে উহার উপরে রাখা কম্পনশীল বস্তুটির পর্যায়কাল অভ্যন্তরস্থ বায়ুর স্বাভাবিক পর্যায়কালের সমান হওয়া দরকার।

বাদ্যযন্ত্রে সাধারণতঃ ফাঁপা কাঠের বাক্স থাকে, বাদ্যযন্ত্রের কম্পনের ফলে বাক্সের ভিতরে অবস্থিত বায়ু মাধ্যম পরবশ কম্পনে কম্পিত হয় এবং নিঃসৃত স্বরকে জোরালো করিয়া দেয়।

2-12. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ (Resonant air-column) :

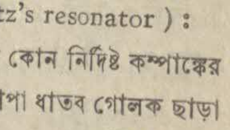
বায়ুস্তম্ভে অনুনাদ দেখাইবার জন্য একমুখ খোলা একটি লম্বা কাঁচের পাত্র লওয়া হইল। পাত্রটির ঠিক খোলা মুখের উপরে একটি কম্পনশীল সুরশলাকাকে ধরিয়া কাচের পাত্রটিতে আস্তে আস্তে জল ঢালিতে হইবে (চিত্র 2ঞ)। এইরূপ করিতে থাকিলে এমন এক সময় আসিবে যখন শব্দটি খুব জোরালো হইবে। এই অবস্থায় পাত্রটির অভ্যন্তরস্থ বায়ুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক সুরশলাকাটির কম্পাঙ্কের সমান হইবে। ফলে অনুনাদের সৃষ্টি হইবে এবং খুব জোরালো শব্দ শোনা যাইবে। পাত্রটিতে আরও জল ঢালিলে শব্দের পরিমাণ বিশেষভাবে কমিয়া যাইবে। ইহার কারণ এই যে এই অবস্থায় অভ্যন্তরস্থ বায়ুস্তম্ভের স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক সুরশলাকাটির কম্পাঙ্ক হইতে পৃথক থাকিবে। ফলে অভ্যন্তরস্থ বায়ুতে পরবশ কম্পন ঘটিবে, কিন্তু অনুনাদ সংঘটিত হইতে পারিবে না।



চিত্র—2 ঞ

2-13 হেলম্‌হোলট্‌জের অনুনাদক (Helmholtz's resonator) :

অনুনাদের নীতি অবলম্বন করিয়া এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের ধ্বনির তীব্রতা বৃদ্ধি করা সম্ভবপর। এই যন্ত্রটি আসলে ফাঁপা ধাতব গোলক ছাড়া কিছুই নহে। গোলকটির দুই প্রান্তে দুইটি খোলা মুখ A ও B থাকে (চিত্র 2ট)। ইহার মধ্যে খোলামুখ A আকারে বড় এবং কম্পমান বস্তুটিকে ইহার সম্মুখে ধরা হয়। খোলামুখ B-এর নিকট কান রাখা হয়। বিভিন্ন ধ্বনি-বিশিষ্ট মিশ্র শব্দের যে ধ্বনিটির কম্পাঙ্ক অভ্যন্তরস্থ বায়ুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হইবে, কেবলমাত্র তাহারই ক্ষেত্রে অনুনাদ ঘটিতে পারিবে। সুতরাং এই ধরনের অনুনাদকের সাহায্যে মিশ্র স্বরে কোন একটি নির্দিষ্ট ধ্বনি বিদ্যমান আছে কিনা তাহাও নির্ণয় করা সম্ভবপর।



চিত্র—2 ট

2-14. অনুনাদের আরও উদাহরণ (Further examples on resonance): (i) কোন ঘরের মধ্যে একই ধরনের বাদ্যযন্ত্র একই সুরে বাঁধা থাকিলে একটিতে ঝংকার তুলিলে অপরটিও ঝংকৃত হইবে। উদাহরণস্বরূপ দুইটি সেতারকে 'সা' সুরে বাঁধিয়া যে কোন একটিকে উদ্দীপ্ত করিলে অপরটি হইতেও 'সা' সুর নির্গত হইবে। যন্ত্র দুইটির মধ্যে প্রত্যক্ষ যোগাযোগ না থাকিলেও অনুনাদের সৃষ্টি হয়। এই ধরনের অনুনাদী কম্পনকে সহানুভূত কম্পন (Sympathetic Vibration) বলা হয়।

(ii) কোন সেতু অতিক্রম করিবার সময় সৈন্যবাহিনীকে শৃংখলাবদ্ধ ভাবে পদক্ষেপ করিতে নিষেধ করা হয়। কারণ শৃংখলাবদ্ধ পদক্ষেপ নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট কম্পনের সৃষ্টি করে। এই কম্পাঙ্ক সেতুটির স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান বা প্রায় সমান হইলে অনুনাদের জন্য সেতুটি ভীষণ ভাবে দুলিতে থাকিবে। দোলনের বিস্তার বেশী হইলে সেতুটি ভাঙ্গিয়া পড়িবার সম্ভাবনা দেখা দিবে।

(iii) বেতার তরঙ্গের অনুনাদের উপর নির্ভর করিয়া বেতার যন্ত্র কাজ করে।

2-15. ব্যাহত বা দমিত কম্পন (Damped vibration): সরল দোলকের দোলকপিণ্ডকে একদিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা দুলিতে থাকিবে। কিন্তু দোলনের সময় ঘর্ষণ, সান্দ্রতা ইত্যাদি নানা রকম বাধার জন্য দোলনের বিস্তার সময়ের সহিত কমিতে থাকিবে এবং শেষ পর্যন্ত দোলকটি থামিয়া যাইবে। এই ধরনের ঘটনাকে ব্যাহত কম্পনের উদাহরণ হিসাবে ধরা যাইতে পারে। সুতরাং, **এক বা একাধিক কারণে কোন কম্পনের বিস্তার সময়ের সহিত কমিতে থাকিলে সেই কম্পনকে ব্যাহত কম্পন বলে।** একদিকে আটকানো কাঠের বা ধাতব কোন দণ্ডকে আঘাত করিলে উহা কাঁপিতে থাকিবে; কিন্তু সময়ের সহিত কম্পনের বিস্তার কমিতে কমিতে অবশেষে শূন্য হইয়া যাইবে। ইহাকেও ব্যাহত কম্পনের উদাহরণ হিসাবে ধরা যাইতে পারে।

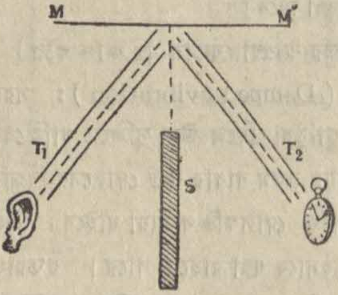
দোলনের সময় মাধ্যমের জন্য বাধাজনিত বলের পরিমাণ কম হইলে ব্যাহত দোলন সংঘটিত হইবে। কিন্তু বাধাজনিত বলের পরিমাণ খুব বেশী হইলে বস্তুটি মোটেই দুলিতে পারিবে না। উদাহরণস্বরূপ বায়ু মাধ্যমে দোলকের ব্যাহত দোলন সংঘটিত হইবে; কিন্তু জলের মধ্যে দোলকটি দুলিতে পারিবে না। গতিবেগের পরিমাণ কম হইলে বাধা জনিত বলের পরিমাণকে গতিবেগের সহিত সমানুপাতিক ধরা যাইতে পারে।

2-16. শব্দের প্রতিফলন (Reflection of sound): আলোকের মত শব্দও প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হইতে পারে। সমসত্ব মাধ্যমে শব্দ সরলরেখায় গমন

করে। কিন্তু শব্দ এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হইলে শব্দের কিছু অংশ প্রথম মাধ্যমে পুনরায় ফিরিয়া আসে। ইহাকে **শব্দের প্রতিফলন** বলা হয়। কিন্তু শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক বেশী হওয়ার, শব্দের ক্ষেত্রে প্রতিফলকটি বিস্তৃত হওয়া প্রয়োজন। এইক্ষেত্রে প্রতিফলকটি একেবারে মসৃণ না হইলেও বিশেষ ক্ষতি নাই। সেইজন্য কাঠের বোর্ড, দেওয়াল বা দূরবর্তী পর্বতমালা হইতে শব্দের প্রতিফলন ঘটিতে পারে।

2·17. **বিভিন্ন তলে শব্দের প্রতিফলন** (Reflection of sound at different surfaces): সমতলে অথবা বক্রতলে শব্দের প্রতিফলন ঘটিতে পারে।

(i) **সমতলে প্রতিফলন** (Reflection at a plane surface): টেবিলের উপর পালিশ করা একটি কাঠের বোর্ড MM'-কে খাড়াভাবে রাখা হইল (চিত্র 2ঠ)। T_1 ও T_2 ফাঁপা নল দুইটি টেবিলের উপর অনুভূমিক ভাবে অবস্থিত। T_2 নলটির খোলামুখের কাছে একটি ছোট পকেট ঘড়ি রাখা হইল। একটি উঁচু কাঠের পর্দা S-কে এমন ভাবে রাখিতে হইবে যাহাতে T_2 হইতে শব্দ সোজাসুজি T_1-এ পৌছিতে না পারে।



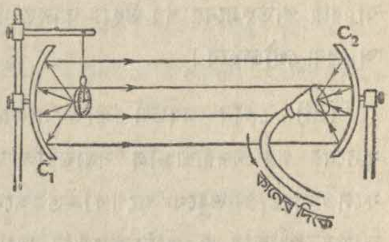
চিত্র—2 ঠ

T_1-এর খোলামুখের নিকট কান রাখিয়া নল দুইটির অবস্থান এমন ভাবে ঠিক করা হইল যাহাতে সবচেয়ে জোরালো শব্দ শোনা যায়। এই অবস্থানে নল দুইটির অক্ষদ্বয়কে বর্ধিত করিলে দেখা যাইবে যে তাহারা MM'-এর উপর একটি বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। এই বিন্দুটি হইবে আপতন বিন্দু। পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে উপরোক্ত অক্ষ দুইটি এবং আপতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থিত। সুতরাং আলোকের মত এক্ষেত্রেও **আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও আপতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে থাকে।** পরীক্ষা করিলে আরও দেখা যাইবে যে, অক্ষ দুইটি অভিলম্বের সহিত সমান সমান কোণ উৎপন্ন করে, অর্থাৎ **আপতন কোণ প্রতিফলন কোণের সমান।**

সুতরাং আলোকের মত শব্দও প্রতিফলনের নিয়মাবলী মানিয়া চলে।

(ii) **বক্রতলে প্রতিফলন** (Reflection at curved surfaces): কোন বক্রতলে শব্দ আপতিত হইলেও শব্দের প্রতিফলন ঘটিতে পারে। পরীক্ষার

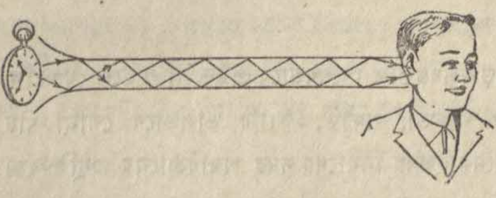
সাহায্যে ইহা দেখাইবার জন্য দুইটি অবতল প্রতিফলক C_1 ও C_2-কে মুখোমুখী রাখিয়া C_1-এর ফোকাসে একটি ছোট হাত ঘড়ি রাখা হইল (চিত্র 2ড)। এইবার C_1-এর ফোকাসে একটি চোঙ রাখিয়া উহার অপর মুখে কান পাতিলে সবচেয়ে জোরালো শব্দ শোনা যাইবে। চোঙটিকে ফোকাস হইতে সামান্য দূরে সরাইয়া দিলে খুব ক্ষীণ শব্দ শোনা যাইবে। ঘড়িটিকে ফোকাস হইতে সামান্য নিকটে সরাইলেও অনুরূপ ঘটনা ঘটিবে। নিম্নলিখিত ভাবে ইহা ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে :



চিত্র—2ড

ঘড়িটি হইতে শব্দরশ্মিগুলি C_1-এ প্রতিফলিত হইয়া সমান্তরাল রশ্মি হিসাবে C_2-তে আপতিত হয়। পুনরায় প্রতিফলনের পর রশ্মিগুলি C_2-এর ফোকাসে মিলিত হয়। সেইজন্য ফোকাসে চোঙটি রাখিলে সবচেয়ে জোরালো শব্দ শোনা যায়।

2-18. **শব্দ প্রতিফলনের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ** (Some practical applications of reflection of sound) : (i) এরোপ্লেনে,


চিত্র—2 চ

জাহাজে অথবা বড় মোটর গাড়ীতে পরস্পরের সহিত কথাবার্তা বলিবার জন্য Speaking tube ব্যবহৃত হয়। এই ধরনের যন্ত্রে একটি সরু ধাতব নলের সহিত একটি চোঙ লাগানো থাকে। চোঙের মুখে কথা বলিলে কিংবা কোন শব্দ করিলে সেই শব্দ নলটির ভিতর বারবার প্রতিফলিত হইয়া অপরপ্রান্তে আসিয়া পৌছায়। শব্দের শক্তি চারিপাশে ছড়াইয়া পড়িতে না পারায় উহার তীব্রতা বিশেষ হ্রাসপ্রাপ্ত হয় না। সেইজন্য নলটির অপরপ্রান্তে কান রাখিলে জোরালো শব্দ শোনা যাইবে।

(ii) রোগীর বুক পরীক্ষা করিবার জন্য ডাক্তারেরা Stethoscope যন্ত্র ব্যবহার করেন। এই যন্ত্রে দুইটি নল থাকে এবং নল দুইটি যেখানে মিশিয়াছে, সেইখানে

একটি পাতলা পর্দাযুক্ত ধাতব চাকতি আটকানো থাকে। চাকতিটি রোগীর বুকের উপর রাখিয়া নল দুইটিকে কানে লাগাইলে রোগীর বুকের ভিতরের শব্দ নলের ভিতর বারবার প্রতিফলনের পর উহার তীব্রতা বিশেষ হ্রাসপ্রাপ্ত না হইয়া ডাক্তারের কানে আসিয়া পৌঁছাইবে।

(iii) কোন অবতল প্রতিফলকের ফোকাসে মুখ রাখিয়া কথা বলিলে প্রতিফলনের পর শব্দরশ্মিগুলি সমান্তরাল ভাবে একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে ছড়াইয়া পড়ে। ফলে নির্দিষ্ট অভিমুখে অপেক্ষাকৃত অনেকদূর হইতে কথাগুলি শোনা যাইবে। লাউড স্পীকার ও মাইক্রোফোন আবিষ্কৃত হইবার পূর্বে বড় বড় হলঘরে বক্তৃতা করিবার জন্য এই ধরনের অবতল প্রতিফলক ব্যবহৃত হইত। প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে পূর্বে কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের সেনেট হলে এই ধরনের একটি বড় প্রতিফলক কাজে লাগানো হইত।

(iv) দূরাগত কোন ক্ষীণ শব্দ শোনার জন্য আমরা অনেক সময় হাতের তালুকে বাঁকা করিয়া কানের কাছে ধরিয়া থাকি। এই ক্ষেত্রে হাতের তালুটি অবতল প্রতিফলকের কাজ করে।

যাহারা কানে কম শোনেন, তাহারা কর্ণভেরী (ear-trumpet) ব্যবহার করেন। ইহার কার্যনীতি অনুরূপ।

(v) বড় বড় হলঘরগুলি বিশেষভাবে প্রস্তুত না হইলে দেওয়াল, ছাদ ইত্যাদিতে প্রতিফলনের জন্য বক্তৃতা, সঙ্গীত, ইত্যাদি ভালভাবে শোনা যায় না। সেইজন্য বর্তমানে এই ধরনের হলঘর নির্মাণের সময় শব্দবিজ্ঞানের প্রযুক্তিবিদ্যার সাহায্য লওয়া হয় এবং ছাদগুলিকে সমতল না করিয়া গম্বুজের মতো করা হইয়া থাকে। গম্বুজের ঢাল এমন ভাবে করা হয় যাহাতে বক্তার কথাগুলি ছাদের বিভিন্নস্থানে প্রতিফলিত হইয়া সকল শ্রোতার নিকট মোটামুটি সমান তীব্রতায় পৌঁছাইতে পারে। যাহাতে দেওয়াল হইতে প্রতিফলিত শব্দ মূল শব্দের সহিত মিশিয়া বিভ্রান্তি সৃষ্টি করিতে না পারে, সেইজন্য দেওয়ালগুলি নরম পর্দা অথবা নরম প্যাড দ্বারা ঢাকিয়া রাখা হয়। তবুও এ ধরনের প্রতিফলন সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করা যায় না। সেক্ষেত্রে হলের ভিতরে অবস্থিত শ্রোতাদের দেহ, চেয়ার, টেবিল ইত্যাদি বস্তুগুলি দ্বারা শব্দের শক্তি শোষিত হয়। ফলে শব্দ বারবার প্রতিফলিত হইয়া আর বিভ্রান্তির সৃষ্টি করিতে পারে না। এই কারণে ফাঁকা জায়গা অথবা খালি ঘর অপেক্ষা লোকভর্তি ঘর বক্তৃতা দেওয়ার পক্ষে অধিকতর সহায়ক।

2.19. **প্রতিধ্বনি** (Echo) : দূরবর্তী কোন পাহাড় বা ঐ ধরনের কোন বাধার সম্মুখে শব্দ করিলে কিছুক্ষণ পর আর একটি অনুরূপ শব্দ শোনা যায়। এই ঘটনাকে **প্রতিধ্বনি** বলে এবং দূরবর্তী বস্তুতে শব্দের প্রতিফলনের জন্য ইহা ঘটিয়া থাকে। পাহাড়ের সম্মুখে কোন শব্দ করিলে সেই শব্দ পাহাড়ে পৌছিয়া প্রতিফলিত হয় এবং নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে আবার আমাদের কাছে ফিরিয়া আসে। শব্দটির পাহাড় পর্যন্ত যাইতে এবং ঐ স্থান হইতে ফিরিয়া আসিতে যে সময় লাগিবে, তাহা উপরোক্ত নির্দিষ্ট ব্যবধানের সমান হইবে। প্রতিফলকটি কাছে থাকিলে প্রতিধ্বনি বোঝা যাইবে না। ইহার কারণ কোন শব্দ শোনার পরেও উহার রেশ আমাদের মস্তিষ্কে কিছুক্ষণ থাকিয়া যায়। এই সময়ের পরিমাণ প্রায় $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড হইয়া থাকে এবং ইহাকে **শব্দ নির্বন্ধ** (persistence of hearing) বলা হয়। সুতরাং মূলশব্দ ধ্বনিত হওয়ার $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের ভিতরেই প্রতিফলিত শব্দ যদি ফিরিয়া আসে তাহা হইলে শব্দ দুইটি পৃথক সত্তায় অনুভূত হইবে না। সেক্ষেত্রে প্রতিধ্বনি বোঝা সম্ভবপর নহে। প্রতিবন্ধকটি সর্বাপেক্ষা কত কম দূরে থাকিলে প্রতিধ্বনি বোঝা যাইবে তাহা মূল ধ্বনির প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। বন্দুকের শব্দ, হাততালি ইত্যাদিকে সাধারণ ধরনের ধ্বনি বলা হয়, কারণ এই ধরনের শব্দের স্থায়িত্ব খুব কম। ইহাদের প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে ধ্বনিটিকে প্রতিবন্ধক পর্যন্ত যাইয়া ফিরিয়া আসিতে হইবে এবং ইহার জন্য সময়ের ব্যবধান কমপক্ষে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড হইতে হইবে। শব্দের গতি বেগ প্রতি সেকেণ্ডে 1120 ফুট ধরিলে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডে শব্দ 112 ফুট যাইতে পারিবে। পর্যবেক্ষক এবং প্রতিবন্ধকের মধ্যের দূরত্ব d হইলে প্রতিধ্বনির জন্য শব্দটিকে $2d$ পথ অতিক্রম করিতে হইবে।

$$\therefore \quad 2d = 112 \text{ ফুট} \qquad \text{বা,} \quad d = 56 \text{ ফুট}$$

সুতরাং এই ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধকটিকে কমপক্ষে 56 ফুট দূরে অবস্থিত হইতে হইবে।

বোধগম্য (articulate) শব্দের প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে প্রতিবন্ধকের দূরত্ব আরও বেশী হইতে হইবে। ইহার কারণ, কোন মানুষ এক সেকেণ্ডে সাধারণত: পাঁচটি পদাংশ (syllable) উচ্চারণ করিতে পারে। সুতরাং একমাত্রিক পদাংশ (monosyllabic word) উচ্চারণ করিতে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড সময় প্রয়োজন হইবে। এইক্ষেত্রে প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে প্রতিফলিত শব্দটিকে কমপক্ষে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড পরে আসিয়া পৌছাইতে হইবে। কিন্তু এই সময়ের ব্যবধানে শব্দ $1120 \times \frac{1}{5} = 224$ ফুট অতিক্রম করিতে পারে। সুতরাং এই ক্ষেত্রে প্রতিবন্ধকটির দূরত্ব কমপক্ষে $224 \div 2 = 112$ ফুট হইতে হইবে।

দ্বিমাত্রিক, ত্রিমাত্রিক শব্দের প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে উপরোক্ত দূরত্বের পরিমাণ কমপক্ষে যথাক্রমে 224 ফুট ও 336 ফুট হইবে।

দুইটি সমান্তরাল পাহাড়ের মাঝে শব্দ করিলে একাধিক প্রতিধ্বনি শোনা যায়। ইহার কারণ মূল শব্দটি নিকটতম পাহাড়ে প্রতিফলিত হইয়া প্রথম প্রতিধ্বনি সৃষ্টি করে। অনুরূপভাবে দ্বিতীয় পাহাড়ে প্রতিধ্বনিত হইবার ফলে দ্বিতীয় প্রতিধ্বনির সৃষ্টি হইবে। কিন্তু প্রথম প্রতিধ্বনির শব্দটি দ্বিতীয় পাহাড়ে প্রতিফলিত হইয়া তৃতীয় প্রতিধ্বনির সৃষ্টি করে। অনুরূপ ভাবে আরও প্রতিধ্বনি শোনা যাইবে। বিদ্যুৎ চমকের জন্য বজ্রনাদের সৃষ্টি হয়। এই শব্দটি বিভিন্ন মেঘের মধ্যে বার বার প্রতিফলনের ফলে মেঘের গুরু-গুরু ধ্বনি সৃষ্টি হয় ও শব্দটি অনেকক্ষণ স্থায়ী হয়।

বড় হলঘরে কথা বলিলে দেওয়ালের গায়ে বার বার প্রতিফলিত হইয়া প্রতিফলিত শব্দ মূল শব্দের সংযোগে শ্রোতার কানে বিভ্রান্তির সৃষ্টি করিতে পারে। ইহাকে শব্দের **প্রতিনাদ** (reverberation) বলা হয়। দেওয়াল এবং জানালাগুলিকে নরমপর্দা বা নরম প্যাড্-দ্বারা আচ্ছাদিত করিয়া শব্দের প্রতিনাদ কমানো যাইতে পারে।

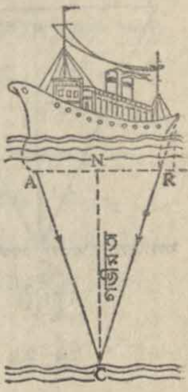
2.20. **প্রতিধ্বনির সাহায্যে শব্দের বেগ নির্ণয়** (Determination of the velocity of sound by echo) : প্রতিধ্বনির সাহায্যে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করা যাইতে পারে। ধর, d সেন্টিমিটার দূরে একটি প্রতিফলক আছে। পর্যবেক্ষক একটি বন্দুকের শব্দ করিলেন এবং সঙ্গের Stop-watch-টি চালু করিলেন। প্রতিধ্বনির শব্দ কানে পৌঁছাইলে, Stop-watch-টি বন্ধ করিয়া দিলেন। এই সময়ের ব্যবধান t সেকেণ্ড হইলে, শব্দটি এই সময়ের মধ্যে $2d$ সেন্টিমিটার পথ অতিক্রম করিয়াছে। সুতরাং 1 সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথের পরিমাণ $\frac{2d}{t}$ সেন্টিমিটার হইবে।

বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ V হইলে স্পষ্টতঃই $V=\frac{2d}{t}$ হইবে।

উপরোক্ত সমীকরণে V জানা থাকিলে পরীক্ষার সাহায্যে t নির্ণয় করিয়া প্রতিফলকটির দূরত্ব (d) সহজেই জানা যাইবে।

2.21. **প্রতিধ্বনির সাহায্যে গভীরতা নির্ণয়** (Depth sounding by echo) : সমুদ্রের জলে শব্দের গতিবেগ জানা থাকিলে প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্রের গভীরতা বাহির করা যাইতে পারে। ধর, সমুদ্রের জলে একটি জাহাজ স্থির অবস্থানে

ভাসিয়া আছে (চিত্র 2 ণ)। জাহাজের A বিন্দুতে বিস্ফোরণের সাহায্যে শব্দ সৃষ্টি করিবার ব্যবস্থা আছে। R বিন্দুতে 'হাইড্রোফোন' নামক একটি শব্দগ্রাহী যন্ত্র রাখা হয়। A বিন্দুতে শব্দের সৃষ্টি হইলে শব্দটি সোজাসুজি ANR পথে গ্রাহক যন্ত্রে পৌছিতে পারে, অথবা AC পথে গমন করিয়া সমুদ্রের তলদেশে প্রতি-ফলনের পর CR পথে গ্রাহক যন্ত্রে পৌছিতে পারে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে শব্দটি পৌছিতে বেশী সময় লাগিবে। এই সময়ের পরিমাণ t এবং সমুদ্র জলে শব্দের গতিবেগ V হইলে,



চিত্র—2 ণ

$$AC = CR = \tfrac{1}{2}Vt$$

AR-এর উপর CN লম্ব হইলে এবং $AR = l$ ধরা হইলে,

$$CN^2 = CR^2 - NR^2 = (\tfrac{1}{2}Vt)^2 - NR^2$$

$$= \tfrac{1}{4}V^2t^2 - \frac{l^2}{4} = \tfrac{1}{4}(V^2t^2 - l^2].$$

সমুদ্রের গভীরতা d হইলে

$$d = CN = \tfrac{1}{2}\sqrt{(V^2t^2 - l^2)}$$

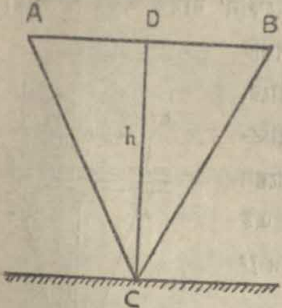
উপরোক্ত সমীকরণ হইতে সমুদ্রের ঐ স্থানের গভীরতা নির্ণয় করা যাইতে পারে।

বর্তমান যুগে এই ধরনের পরীক্ষায় উচ্চকম্পাঙ্ক বিশিষ্ট শব্দতরঙ্গ অথবা শব্দোত্তর তরঙ্গ ব্যবহৃত হইয়া থাকে। ইহাদের বিশেষ সুবিধা এই যে এই ধরনের তরঙ্গ সোজা চলিয়া যায় এবং সেইজন্য ইহাদিগকে অনায়াসে কোন নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রেরণ করা সম্ভবপর।

উপরোক্ত পদ্ধতির সাহায্যে জলের নীচে মাছের ঝাঁকের অবস্থান নির্ণয় করা যাইতে পারে।

2.22. **প্রতিধ্বনির সাহায্যে এরোপ্লেনের উচ্চতা নির্ণয়** (Determination of the height of an aeroplane by echo) **:** প্রতিধ্বনির সাহায্যে এরোপ্লেনের উচ্চতা নির্ণয় করা যাইতে পারে। ধর, একটি এরোপ্লেন ভূ-পৃষ্ঠের সমান্তরালভাবে AB অভিমুখে উড়িয়া যাইতেছে। A বিন্দুতে অবস্থানের সময় একটি শব্দ করা হইল। এই শব্দটি ভূ-পৃষ্ঠে প্রতিফলনের পর প্রতিধ্বনির আকারে পুনরায়

এরোপ্লেনে আসিয়া পৌছাইবে। ধর সেই সময় B বিন্দুটি এরোপ্লেনটির অবস্থান সূচিত করে। শব্দ সৃষ্টি এবং প্রতিধ্বনি শোনা এই ঘটনার ভিতর সময়ের ব্যবধান t এবং এরোপ্লেনের গতিবেগ v হইলে,



চিত্র—2 ত

$$AB = v \times t \text{ হইবে।}$$

$$\therefore \quad AD = \tfrac{1}{2}AB = \tfrac{1}{2}vt$$

বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ V হইলে, $AC = CB = \frac{1}{2}Vt$

এরোপ্লেনের উচ্চতা $= CD = h$ (ধরা হইল)।

কিন্তু ADC একটি সমকোণী ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad h = \sqrt{AC^2 - AD^2} = \sqrt{(\tfrac{1}{2}Vt)^2 - (\tfrac{1}{2}vt)^2}$$

$$= \frac{t}{2}\sqrt{(V^2 - v^2)}$$

উপরোক্ত সমীকরণ হইতে এরোপ্লেনের উচ্চতা সহজেই নির্ণয় করা যাইতে পারে।

2.23. **শব্দের সাহায্যে অবস্থান নির্ণয়** (Sound ranging) : শব্দের সাহায্যে শত্রুপক্ষের কামানের অবস্থান এবং কুয়াশাচ্ছন্ন আবহাওয়ায় বন্দরের নিকটবর্তী জাহাজের অবস্থান নির্ণয় করা যাইতে পারে।

কামান দাগার সময় অগ্নিঝলক দেখিতে পাইলে, অগ্নিঝলক দেখার পর শব্দটি দুইটি পর্যবেক্ষণ কেন্দ্র A ও B-তে যথাক্রমে কতক্ষণ পরে আসিয়া পৌছায় তাহা লক্ষ্য করিতে হইবে। এই সময়ের পরিমাণ যথাক্রমে t_1 ও t_2 হইলে এবং বাতাসে শব্দের গতিবেগ V হইলে, কামান হইতে A ও B কেন্দ্রের দূরত্ব যথাক্রমে Vt_1 ও Vt_2 হইবে। এইবার A ও B কে কেন্দ্র করিয়া যথাক্রমে Vt_1 ও Vt_2 ব্যাসার্ধ লইয়া মানচিত্রের উপর দুইটি বৃত্ত আঁকিলে উহাদের ছেদবিন্দু কামানের অবস্থান সূচিত করিবে।

কামানের অগ্নিঝলক যদি দেখিতে না পাওয়া যায় সেক্ষেত্রে তিনটি পর্যবেক্ষণ কেন্দ্র (A, B, C) হইতে শব্দটি শুনিতে হইবে। ধর A পর্যবেক্ষণ কেন্দ্রে শব্দ পৌছিবার t_1 সময় পরে B কেন্দ্রে এবং t_2 সময় পরে C কেন্দ্রে শব্দটি আসিয়া পৌছাইল। এইবার B ও C-কে কেন্দ্র করিয়া যথাক্রমে Vt_1 ও Vt_2 ব্যাসার্ধ লইয়া মানচিত্রের উপর দুইটি বৃত্ত আঁকা হইল। ইহার পর আর একটি বৃত্ত এমনভাবে আঁকিতে হইবে

যাহা উপরোক্ত বৃত্ত দুইটিকে স্পর্শ করে এবং A বিন্দুর ভিতর দিয়া গমন করে। শেষোক্ত বৃত্তের কেন্দ্র বিন্দুই কামানের অবস্থান নির্দিষ্ট করিবে।

কুয়াশাচ্ছন্ন আবহাওয়ায় বন্দরের নিকটবর্তী জাহাজের অবস্থান দেখা যায় না। সেক্ষেত্রে শব্দের সাহায্যে উহার অবস্থান নির্ণয় করা হয়। জাহাজ হইতে একই সংগে বেতার সংকেত এবং জলের মধ্য দিয়া শব্দ সংকেত পাঠানো হয়। বন্দরে দুইটি পর্যবেক্ষণ কেন্দ্র A ও B হইতে বেতার সংকেত পৌছিবার কতক্ষণ পরে শব্দ সংকেত আসিয়া পৌছায়—তাহা লক্ষ্য করা হয়। ধর, এই সময় দুইটির পরিমাণ t_1 ও t_2 হইল। জলে শব্দের গতিবেগ v হইলে জাহাজ হইতে A ও B কেন্দ্রের দূরত্ব vt_1 ও vt_2 হইবে। এইবার A ও B-কে কেন্দ্র করিয়া যথাক্রমে vt_1 ও vt_2 ব্যাসার্ধ লইয়া চার্টের উপর দুইটি বৃত্ত আঁকা হইল। বৃত্ত দুইটির ছেদবিন্দুই জাহাজটির অবস্থান সূচিত করিবে।

2-24. শব্দোত্তর তরঙ্গের ব্যবহার (Applications of ultrasonic waves) **:** কোন উৎস কম্পিত হইলে শব্দের সৃষ্টি হয়। কিন্তু উৎসটির কম্পাংক সাধারণতঃ 30-এর কম হইলে ঐ শব্দ আমরা শুনিতে পাই না। কারণ এই ধরনের শব্দতরঙ্গ কানের পর্দাকে উপযুক্তভাবে উত্তেজিত করিতে পারে না। এই ধরনের শব্দ তরঙ্গকে **শব্দেতর তরঙ্গ** (Subsonic waves) বলা হয়। আবার পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে উৎসটির কম্পাংক 20,000-এর বেশী হইলে, সেই শব্দ কানে শ্রুতিগোচর হয় না। এই ধরনের শব্দকে **শব্দোত্তর তরঙ্গ** (Ultrasonic waves) বলা হইয়া থাকে। যদিও শব্দোত্তর তরঙ্গ আমরা শুনিতে পাই না তবুও এই ধরনের তরঙ্গকে অনেক ব্যবহারিক ক্ষেত্রে কাজে লাগানো হইয়াছে।

শব্দোত্তর তরঙ্গ আলোক তরঙ্গের মত সরলরেখায় সঞ্চালিত হয়। ফলে ইহাদিগকে নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রেরণ করা সহজসাধ্য। এই কারণের জন্য সমুদ্রের গভীরতা মাপিবার জন্য, ডুবোজাহাজ বা উড়োজাহাজের অবস্থান নির্ণয়ের জন্য শব্দোত্তর তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়। শব্দোত্তর তরঙ্গের সাহায্যে নিমজ্জিত পাহাড়ের অবস্থানও নির্ণয় করা যায়।

বর্তমান যুগে ব্যাপকভাবে মৎস্য শিকারের জন্যও শব্দোত্তর তরঙ্গ ব্যবহৃত হইয়া থাকে। মাছের পেটের মধ্যে অবস্থিত বায়ুপূর্ণ থলি (air bladder) শব্দোত্তর তরঙ্গকে প্রতিফলিত করিতে পারে। সুতরাং উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে মাছের ঝাঁকের অবস্থান এবং গতিবিধি জানা যাইতে পারে।

বর্তমান যুগে চিকিৎসা বিজ্ঞানে শব্দোত্তর তরঙ্গকে জীবাণু ধ্বংসের কাজে লাগানো হয়। যক্ষ্মা ও ডিপ্‌থিরিয়ার বীজাণুর উপর শব্দোত্তর তরংগ প্রয়োগ করিলে

জীবাণুগুলি ধ্বংস হইয়া যায়। শব্দোত্তর তরঙ্গের সাহায্যে হুপিং কাশির সিরাম প্রস্তুত করা হয়। শরীরের ভিতরে ক্যানসার ও টিউমারের অবস্থান নির্ণয়ের কাজেও শব্দোত্তর তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়। অনেক সময় পানীয় জল, দুধ ও অন্যান্য খাদ্যদ্রব্যকে জীবাণুবিহীন করিবার জন্য এই শব্দোত্তর তরংগ ব্যবহৃত হইয়া থাকে। অনেক সময় জলে অদ্রবণীয় কোন বস্তুকে শব্দোত্তর তরঙ্গের সাহায্যে দ্রবণীয় করা সম্ভবপর হয়। উদাহরণস্বরূপ সাধারণ অবস্থায় কর্পূর জলে দ্রবণীয় নহে। সেজন্য এইভাবে কর্পূর মানবদেহে ইঞ্জেকশন দেওয়া যায় না। সেক্ষেত্রে শব্দোত্তর তরঙ্গের সাহায্যে কর্পূরকে জলে দ্রবণীয় করা হয় ও তাহা ইঞ্জেকশান হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

অনেক ক্ষেত্রে শব্দোত্তর তরঙ্গকে রাসায়নিক পরিবর্তনের কাজে ব্যবহার করা হয়।

ময়লা জামাকাপড়ে শব্দোত্তর তরঙ্গ প্রয়োগ করিলে ময়লাগুলি আপনা-আপনি বাহির হইয়া যায়। বিজ্ঞানে বিশেষভাবে উন্নত দেশসমূহে মূল্যবান জামাকাপড় পরিষ্কার করিবার জন্য এই ধরনের শব্দোত্তর তরঙ্গ ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

লোহার কড়ি বা কোন ধাতুর ভিতরে খাদ বা ফাটল থাকিলে শব্দোত্তর তরঙ্গের সাহায্যে উহা জানা যাইতে পারে। বিভিন্ন ধাতুর পাতকে পরিষ্কার করিবার জন্য, বয়লারের গায়ে যে আস্তরণ (Boiler scale) জমে তাহা পরিষ্কার করিবার জন্য, কারখানাকে ধূলি ও ধোঁয়া হইতে মুক্ত করিবার জন্য শব্দোত্তর তরঙ্গ ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

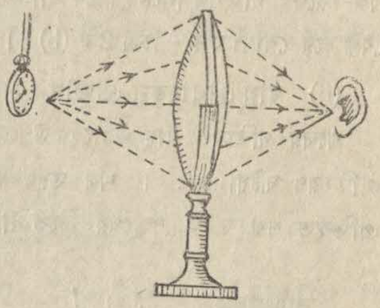
রাত্রিবেলাতে কোন বাড়ী বা দোকান পাহারা দিবার জন্য শব্দোত্তর তরঙ্গকে কাজে লাগানো হয়। ঐ ঘরে বা দোকানে কোন ব্যক্তি প্রবেশ করিলে শব্দোত্তর তরঙ্গের প্রতিফলন ঘটে ও সাবধানী-ঘণ্টা বাজিয়া উঠে।

বর্তমানে বিভিন্ন দেশে শব্দোত্তর তরঙ্গ লইয়া প্রচুর গবেষণা চলিতেছে।

2.25. **শব্দের প্রতিসরণ** (Refraction of Sound) : সমসত্ত্ব মাধ্যমে শব্দ নির্দিষ্ট গতিতে সঞ্চালিত হয়। কিন্তু বিভিন্ন মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ বিভিন্ন হইয়া থাকে। এই কারণে শব্দ যখন একমাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন দুই মাধ্যমের সাধারণ তলে শব্দ তরঙ্গের গতিপথ পরিবর্তিত হইয়া যায়। এই ধরনের ঘটনাকে **শব্দের প্রতিসরণ** বলে। আলোক প্রতিসরণের যে সূত্রগুলি মানিয়া চলে, শব্দও সেই সূত্রগুলি মানিয়া চলে। নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে শব্দের প্রতিসরণ দেখানো যাইতে পারে :

2৫ নং চিত্রে L একটি পাতলা রাবারের থলিবিশেষ এবং ইহার ভিতরে বায়ু অপেক্ষা ঘন কার্বন-ডাই-অক্সাইড রাখা থাকে। গোলাকার ফ্রেমের মধ্যে থলিটিকে

আটকাইলে থলিটি উত্তল লেন্সের আকার ধারণ করিবে। থলিটির অক্ষের উপর একটি হাতঘড়ি রাখা হইল। এইবার থলিটির অন্যদিকে কান রাখিলে অক্ষের উপর কোন এক বিশেষ বিন্দুতে সর্বাপেক্ষা জোরালো শব্দ শোনা যাইবে। অক্ষের অন্য কোন জায়গায় কান রাখিলে শব্দ বিশেষ শোনা যাইবে না। কার্বন-ডাই-অক্সাইড বায়ু অপেক্ষা ঘনতর মাধ্যম। সুতরাং এই পরীক্ষা প্রমাণ করে যে আলোক তরঙ্গের ন্যায় শব্দ তরঙ্গও ঘনতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হইয়া একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়।

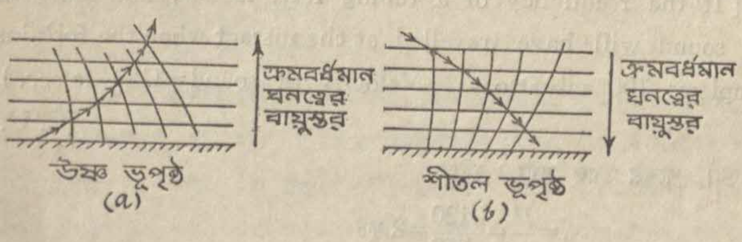


চিত্র—2 থ

কার্বন-ডাই-অক্সাইড-পূর্ণ থলিটি এই ক্ষেত্রে উত্তল লেন্স হিসাবে আচরণ করে।

2.26. **বায়ুমণ্ডলে শব্দের প্রতিসরণ** (Refraction of sound in atmosphere): বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের তাপমাত্রা বিভিন্ন হইলে অথবা বায়ু প্রবাহ থাকিলে শব্দের প্রতিসরণ ঘটিয়া থাকে।

(i) **তাপমাত্রার প্রভাব** (Effect of temperature): দিনের বেলায়, বিশেষ করে গ্রীষ্মকালে দিনের বেলায়, ভূ-সংলগ্ন বায়ুস্তর গরম হইয়া যায়। ফলে উহার ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা কম থাকে। কিন্তু যতই উপরে যাওয়া যায়, বাতাসের ঘনত্ব ততই বাড়িতে থাকে। এই ক্ষেত্রে ভূ-পৃষ্ঠে কোন শব্দ সৃষ্টি করা হইলে শব্দ তরঙ্গ ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় এবং প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইতে থাকে এবং শব্দের গতিপথ ক্রমশঃ উপরের দিকে বাঁকিয়া যায় [চিত্র 2দ (a)] এই



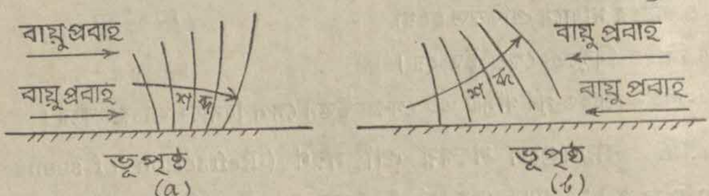
চিত্র—2 দ

কারণেই গ্রীষ্মকালে দিনের বেলায় শব্দতরঙ্গ সম্মুখের দিকে বেশীদূর যাইতে পারে না। কিন্তু রাত্রিবেলায়, বিশেষ করে শীতকালের রাত্রিবেলায়, ভূ-সংলগ্ন বাতাস অত্যন্ত

ঠাণ্ডা হয় এবং সর্বাপেক্ষা ঘনত্ব বিশিষ্ট হইয়া থাকে। যতই উপরে যাওয়া যায়, বায়ুস্তরের উষ্ণতা ততই বাড়িতে থাকে এবং ঘনত্ব কমিয়া যায়। এই কারণেই প্রতিসৃত-শব্দ-তরঙ্গের গতিপথ নিচের দিকে বাঁকিয়া যায় এবং রাত্রিবেলায় শব্দ তুলনামূলকভাবে বেশী দূরে শোনা যায় [চিত্র 2 দ (b)]।

(ii) **বায়ু প্রবাহের প্রভাব** (effect of wind) :

শব্দের গতিবেগ বায়ু প্রবাহের উপরেও নির্ভরশীল বলিয়া বায়ু প্রবাহের জন্য শব্দের প্রতিসরণ ঘটিয়া থাকে। শব্দ তরঙ্গ ও বায়ু প্রবাহের অভিমুখ একই দিকে হইলে প্রতিসৃত শব্দ তরঙ্গ সম্মুখের দিকে বাঁকিয়া যাইবে (চিত্র 2 ধ (a))। ইহার ফলে



চিত্র—2 ধ

তুলনামূলক ভাবে অনেক দূরের শব্দও শোনা যাইবে। কিন্তু বায়ু প্রবাহ ও শব্দ তরঙ্গের অভিমুখ বিপরীত দিকে হইলে প্রতিসৃত শব্দ তরঙ্গ উপরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে [চিত্র 2 ধ (b)]। সেক্ষেত্রে বেশীদূরের শব্দ স্পষ্ট শোনা যাইবে না।

উদাহরণ :

1. স্বর শলাকার কম্পাঙ্ক 560 হইলে শলাকাটি 100 বার কম্পন সম্পূর্ণ করিলে শব্দ কতদূর যাইবে ? (শব্দের গতিবেগ = 1120 ফুট / সেঃ)

[If the frequency of a tuning fork is 560, find how far the sound will have travelled at the instant when the fork just completes 100 vibrations. (Velocity of sound = 1120 ft/sec.)]
[C. U.]

উ। শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ হইলে,

$$\lambda = \frac{V}{n} = \frac{1120}{560} = 2 \text{ ফুট}$$

শব্দটি একবার পূর্ণস্পন্দনের সময় এই পরিমাণ দূরত্ব অতিক্রম করিবে।

সুতরাং, 100 বার স্পন্দনের জন্য নির্ণেয় অতিক্রান্ত দূরত্ব

$= 2 \times 100 = 200$ ফুট।

2. স্বর শলাকার কম্পাঙ্ক 400, বাতাসে শব্দের গতিবেগ 320 মি./সে.। যখন শলাকা 30 বার স্পন্দিত হয় ততক্ষণে শব্দ কত দূর যায় তাহা নির্ণয় কর। [If the frequency of a tuning fork is 400 and the velocity of sound in air 320 metres/sec., find how far sound travels when the fork executes 30 vibrations.] [C. U.]

উ। আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{V}{n} = \frac{320 \times 100}{400} = 80 \text{ সেমি.।}$$

$$\text{নির্ণেয় দূরত্ব} = 30 \times 80 = 2400 \text{ সেমি.।}$$

3. স্বর শলাকার কম্পাঙ্ক 280 এবং শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 4 ফুট হইলে শব্দের গতিবেগ বাহির কর। [The frequency of a tuning fork is 280 and the wavelength of the sound is 4 ft. Calculate the velocity of sound.]

উ। আমরা জানি $V = n\lambda = 280 \times 4 = 1120$ ফুট/সে.।

4. দুইটি স্বর শলাকার কম্পাঙ্ক 128 এবং 384 হইলে বাতাসে শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তুলনা কর। [Compare the wave-lengths in air of sounds given by two tuning forks of frequencies 128 and 384 respectively. [C. U.]

উ। স্বরশলাকা দুইটির কম্পাংক n_1, n_2 এবং বায়ুমাধ্যমে উহাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে λ_1, λ_2 ধরা হইল। শব্দের গতিবেগ V হইলে,

$$V = n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$$

$$\therefore \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{384}{128} = \frac{3}{1}.$$

5. নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট কোন বস্তু কম্পিত হইলে A মাধ্যমে 10 সেমি. দৈর্ঘ্যের এবং B মাধ্যমে 15 সেমি. দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ পাঠায়। A মাধ্যমে তরঙ্গের গতিবেগ 90 সেমি./সে. হইলে B মাধ্যমে গতিবেগ নির্ণয় কর। [A body vibrating with a constant frequency sends waves 10 cm. long through a medium A and 15 cm. long through another medium B. The velocity of the waves in A is 90 cm. per sec. Find the velocity of the waves in B.] [C. U.]

উ। কম্পমান বস্তুটির কম্পাংক n এবং A মাধ্যমে উহার তরঙ্গ দের্ঘ্য এবং গতিবেগ যথাক্রমে λ_1 এবং V_1 ধরা হইল। B মাধ্যমে উহার তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং গতিবেগ যথাক্রমে λ_2 এবং V_2 হইলে,

$$V_1 = n\lambda_1 \text{ এবং } V_2 = n\lambda_2 \quad \therefore \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

$$\text{বা, } V_2 = V_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 90 \times \frac{15}{10} = 135 \text{ সেমি./সে.।}$$

6. কোন ব্যক্তি পাহাড়ের সামনে গুলি ছুড়িল এবং 4 সে. পরে প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইল। পাহাড়ের দূরত্ব নির্ণয় কর। (শব্দের গতিবেগ = 1120 ফু./সে.) [A man fires a gun in front of a hill and hears the echo after 4 seconds. Calculate the distance of the hill from the man. (Velocity of sound = 1120 ft./sec.)]

উ। 4 সেকেণ্ড সময়ে শব্দ যে দূরত্ব অতিক্রম করিতে পারে

তাহা = 4 × 1120 = 4480 ফুট।

পর্যবেক্ষকের নিকট হইতে পাহাড়ের দূরত্ব x হইলে

প্রতিধ্বনির জন্য শব্দকে $2x$ পথ অতিক্রম করিতে হইবে।

$\therefore$ $2x = 4480$ ফুট বা, $x = 2240$ **ফুট।**

7. কোন ব্যক্তি নদীর ধারে দাঁড়াইয়া হাততালি দিলে অপর পাড়ে অবস্থিত বাড়ী হইতে প্রতিফলিত শব্দ $\frac{1}{3}$ সেকেণ্ড পরে শুনিতে পায়। শব্দের গতিবেগ 324 মি./সে. হইলে নদীর প্রস্থ নির্ণয় কর। [A man stands on the bank of a river. The sound of clapping gets reflected from the house standing on the other bank of the river and reaches the man after $\frac{1}{3}$ second. If the velocity of sound be 324 metres/second then find the breadth of the river at that place.]

উ। $\frac{1}{3}$ সেকেণ্ডে শব্দ কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব = $\frac{1}{3} \times 324 = 108$ মিটার।

নদীর বিস্তার x হইলে প্রতিধ্বনির জন্য শব্দকে $2x$ পথ অতিক্রম করিতে হইবে।

$\therefore$ $2x = 108$ মিটার বা, $x = 54$ **মিটার।**

8. দুইটি পাহাড়ের মধ্যে অবস্থিত কোন ব্যক্তি গুলি ছুড়িল এবং তাহার পরে 1 সে. এবং 4 সে পরে পরপর দুইটি প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইল। পাহাড় দুইটি 2800 ফুট ব্যবধানে থাকিলে শব্দের গতিবেগ বাহির কর। [A man stationed between two cliffs fires a gun and hears two echoes in succession,

one second and 4 seconds respectively after the firing of the gun. If the cliffs are 2800 ft. apart, what is the velocity of sound ?

[C.U. 1952]

উ। পর্যবেক্ষক হইতে নিকটতম পর্বতের দূরত্ব x ফুট এবং অপরটির দূরত্ব y ফুট হইলে,

$x+y=2800$ ফুট।

প্রথম প্রতিধ্বনিটি নিকটতম পর্বতে প্রতিফলনের জন্য ঘটিবে।

যেহেতু প্রথম প্রতিধ্বনিটি 1 সেকেণ্ড পরে শোনা যায়,

সুতরাং এই সময়ে শব্দটি $2x$ পথ গমন করিবে।

দ্বিতীয় প্রতিধ্বনিটি অপর পর্বতে প্রতিফলনের জন্য সংঘটিত হয়। ইহার জন্য শব্দকে 4 সেকেণ্ড সময়ে $2y$ পথ অতিক্রম করিতে হইবে।

$\therefore$ $(1+4)$ সেকেণ্ড সময়ে শব্দ কর্তৃক অতিক্রান্ত পথ

$=2x+2y=2(x+y)$

$=2\times 2800=5600$ ফুট

$\therefore$ 1 সেকেণ্ড সময়ে শব্দ কর্তৃক অতিক্রান্ত পথ

$=\frac{5600}{5}=1120$ ফুট

সুতরাং, শব্দের গতিবেগ $=$ **1120 ফুট/সেকেণ্ড।**

9. সমুদ্রের গভীরতা মাপিবার জন্য সমুদ্রের উপরি দেশ হইতে শব্দোত্তর তরঙ্গ ছাড়া হইল এবং 14 সে. পরে প্রতিধ্বনি শোনা গেল। জলে শব্দের গতিবেগ 4800 ফু./সে. হইলে ঐ স্থানে সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয় কর। [To determine the depth of an ocean, ultrasonic waves are sent from the surface of the ocean. If the corresponding echo be heard after 14 seconds and if the velocity of sound in water be 4800 ft./second, then find the depth of the ocean at that point.]

উ। 14 সেকেণ্ড সময়ে শব্দ কর্তৃক অতিক্রান্ত পথ

$=14\times 4800$ ফুট।

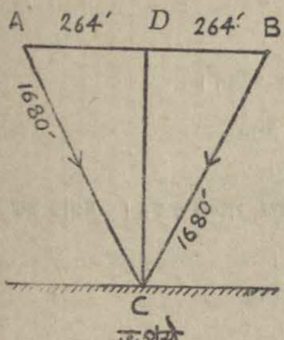
সমুদ্রের গভীরতা x হইলে, প্রতিধ্বনির জন্য শব্দকে $2x$ পথ অতিক্রম করিতে হইবে।

$\therefore$ $2x=14\times 4800$ ফুট বা, $x=\frac{14\times 4800}{2}=33600$ ফুট।

$=6\frac{4}{11}$ মাইল।

10. ঘণ্টায় 120 মাইল গতিবেগে অনুভূমিকভাবে গমন রত এরোপ্লেনের পাইলট বন্দুক ছুঁড়িল এবং 3 সে. পরে ভূপৃষ্ঠ হইতে প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইল। বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ 1120 ফু./সে. হইলে, এরোপ্লেনের উচ্চতা নির্ণয় কর। [The pilot of an aeroplane, travelling horizontally at 120 m. p. h. fires a gun and hears the echo from the ground after an interval of 3 seconds. Find the height of the aeroplane. (Velocity of sound in air is 1120 ft./sec.)

[C. U. 1950, B. U. 1962]



চিত্র—2 ন

উ। ধর, বন্দুক ছোঁড়ার সময় এরোপ্লেনের অবস্থান A বিন্দুতে এবং 3 সেকেণ্ড পরে উহার অবস্থান B বিন্দুতে হইল (চিত্র 2ন)।

3 সেকেণ্ড সময়ে এরোপ্লেন কর্তৃক অতিক্রান্ত

পথ $=\frac{120\times 1760\times 3}{60\times 60}\times 3=528$ ফুট। AB এর মধ্যবিন্দু D হইলে.

$$AD=DB=\frac{528}{2}=264 \text{ ফুট।}$$

প্রতিধ্বনিটি ACB পথে এরোপ্লেনে আসিয়া পৌছায়। কিন্তু 3 সেকেণ্ড সময়ে শব্দ কর্তৃক অতিক্রান্ত পথ

$=3\times 1120=3360$ ফুট $=ACB$ পথের দৈর্ঘ্য।

$$\therefore\ AC=CB=\frac{3360}{2}=1680 \text{ ফুট।}$$

ভূপৃষ্ঠ হইতে এরোপ্লেনের উচ্চতা h হইলে

$$h=CD=\sqrt{(BC^2-BD^2)}=\sqrt{(1680^2-264^2)}$$
$$=1642 \text{ ফুট।}$$

11. A stone is dropped into a mine and the sound is heard after $5\frac{1}{3}$ seconds. If the depth of the mine be 400 ft. find out the velocity of sound.

[Assume $g=32$ ft./sec^2.]

উ। বাধাহীনভাবে ঢিলটি পড়িতে t সেকেণ্ড সময় লাগিলে

$$400=\frac{1}{2}\times 32\times t^2 \qquad [\because \; s=\frac{1}{2}gt^2]$$

$$\text{Or, } t^2=\frac{400\times 2}{32}=25$$

$$\therefore \; t=5 \text{ সেকেণ্ড।}$$

খনির নীচে হইতে শব্দটি উপরে পৌছিতে সময় লইবে

$$(5\tfrac{1}{3}-5)=\tfrac{1}{3} \text{ সেকেণ্ড।}$$

$\therefore$ শব্দের গতিবেগ $=400\div\frac{1}{3}=1200$ **ফুট/সেকেণ্ড।**

12. A fishing trawler is vertically above a shoal of fish. Ultrasonic waves transmitted from the trawler after reflection at the shoal of fish reach the same after 0·2 second. If the velocity of sound in water be 4800 ft./sec. find the depth where the fishes remain.

উ। 0·2 সেকেণ্ডে শব্দোত্তর তরঙ্গ কর্তৃক অতিক্রান্ত পথের পরিমাণ $=0{\cdot}2\times 4800=960$ ফুট।

মাছের ঝাঁকটি 'd' গভীরতায় থাকিলে, প্রতিধ্বনির জন্য শব্দোত্তর তরঙ্গকে $2d$ পথ অতিক্রম করিতে হইবে।

$$\therefore \; 2d=960 \quad \text{বা, } d=480 \text{ ফুট।}$$

॥ প্রশ্নবলী ॥

1. তরঙ্গগতি কাহাকে বলে? তরঙ্গগতি কয় প্রকারের তাহা উদাহরণের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

[What is meant by wave-motion? Explain with illustrations different types of wave-motion.

2. চল-তরঙ্গ কাহাকে বলে? চল-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।

[What is a progressive wave? State the characteristics of a progressive wave.]

3. (a) নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লিখ:—(i) সরণ, (ii) বিস্তার, (iii) পর্যায়কাল, (iv) কম্পাঙ্ক, (v) দশা এবং (vi) তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য

(b) তরঙ্গের গতিবেগ, তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পনাঙ্কের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[(a) Define the following: (i) displacement, (ii) amplitude, (iii) time-period, (iv) frequency, (v) phase and (vi) wave-length. (b) Find out the relation between velocity, wavelength and frequency.]

4. বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ 1120 ফু./সে. এবং স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক 264 হইলে শলাকাটি কতবার কম্পিত হইলে 154 ফুট দূরে শব্দ শোনা যাইবে তাহা নির্ণয় কর।

[Taking 1120ft. per sec. as the speed of sound in air, find the number of

vibrations which a fork of frequency 264 must make before the sound is heard at a distance of 154 ft.] [C. U.] [Ans. 36·3]

5. স্বরশলাকার জন্য বায়ুমাধ্যমে শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 83 সেমি. এবং শব্দের গতিবেগ 332 মি./সে. হইলে শলাকাটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

[The Wave-length of sound in air due to a tuning fork is 83 cm. If the velocity of Sound in air be 332 metres per sec., calculate the frequency of the tuning fork.] [Ans. 400]

6. স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক 500 এবং বাতাসে শব্দের বেগ 330 মি./সে. হইলে বাতাসে শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ নির্ণয় কর।

[If the frequency of a tuning fork be 500 and the velocity of sound in air be 330 metres per. sec, calculate the wave-length of sound in air. [Ans. 66 cm.]

7. উদাহরণের সাহায্যে স্বাভাবিক কম্পন ও পরবশ কম্পন কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও।]

Explain. with illustrations, what is understood by free vibration and forced vibration.]

8. অনুনাদ বলিতে কি বুঝায় তাহা উদাহরণের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। অনুনাদী বাক্স ও অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের কার্যানীতি ব্যাখ্যা কর। [Explain with examples what is meant by resonance. Discuss the working principle of a resonance box and resonant air column.]

9. নিম্নলিখিত ঘটনাগুলির কারণসহ ব্যাখ্যা কর :

(a) তারের যন্ত্রে ফাঁপা কাঠের বাক্স লাগানো থাকে। (b) অনুনাদী বাক্সের উপর কম্পনশীল স্বরশলাকা রাখিলে জোরালো শব্দ শোনা যায়। (c) হেলম্‌হোল্‌ট্‌জের অনুনাদকের সাহায্যে কোন নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের ধ্বনির তীব্রতা বৃদ্ধি করা যায়। (d) দুইটি একই ধরনের বাদ্যযন্ত্র একই সুরে বাঁধা থাকিলে একটিতে ঝংকার তুলিলে অপরটিও ঝংকৃত হয়। (e) সেতু অতিক্রম করিবার সময় সৈন্যবাহিনীকে শৃঙ্খলাবদ্ধভাবে পদক্ষেপ করিতে নিষেধ করা হয়।

[Explain with causes the following phenomena :

(a) Hollow wooden boxes are attached to stringed instruments. (b) Intense sound is heard when a vibrating fork is pressed on a resonance box. (c) The intensity of sound of a definite frequency can be augmented by Helmholtz's resonator. (d) If one of the two similarly tuned instruments is excited, the other also gets excited (e) While crossing a bridge, the soldiers are orderd not to march in orderly manner.]

10. ব্যাহত কম্পনের উপর সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ।

[Write a short note on damped vibration.]

11. শব্দের প্রতিফলন বলিতে কি বুঝ? উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে সমতলে এবং বক্রতলে শব্দ কিরূপে প্রতিফলিত হয় তাহার বর্ণনা দাও।

[What do you mean by reflection of sound ? Describe suitable experiments to illustrate the reflection of sound at plane as well as at curved surfaces.]

12. শব্দ প্রতিফলনের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ লিখ।

[Mention some practical applications of reflection of sound.]

13. প্রতিধ্বনি কাহাকে বলে এবং কিরূপে গঠিত হয় তাহা ব্যাখ্যা কর। দুইটি পাহাড়ের মাঝে শব্দ করিলে একাধিক প্রতিধ্বনি শোনা যায় কেন?

[Explain what is meant by an echo and how it is formed. Explain why more than one echo is heard when a sound is made between two hills.]

14. প্রতিধ্বনি কি? প্রতিধ্বনির সাহায্যে কিরূপে (a) শব্দের বেগ, (b) সমুদ্রের গভীরতা ও (c) এ্যারোপ্লেনের উচ্চতা নির্ণয় করিবে?

[What is an echo ? How, on the principle of echo, will you determine (a) velocity of sound, (b) depth of a sea and (c) the height of an aeroplane ?]

15. শব্দের প্রতিসরণ বলিতে কি বুঝায় ? পরীক্ষার সাহায্যে শব্দের প্রতিসরণ ব্যাখ্যা কর ।]

[What is meant by refraction of sound ? Explain refraction of sound with the help of an experiment.]

16. রাত্রিবেলায় শব্দ বেশী দূরে শোনা যায় কেন ?

[Why sound can be heard from a longer distance during night ?]

17. কোন ব্যক্তি দুইটি মাস্তরাল পর্ব্বতমালার মধ্যে দাঁড়াইয়া বন্দুকের গুলি ছুঁড়িল এবং $1\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড পরে প্রথম, $2\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড পরে দ্বিতীয় এবং তাহার পরে তৃতীয় প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইল। প্রতিধ্বনিগুলি কিরূপে সৃষ্টি হইল তাহা ব্যাখ্যা কর। পর্ব্বতমালা দুইটির ব্যবধান এবং তৃতীয় প্রতিধ্বনিটি কখন শোনা যাইবে তাহা নির্ণয় কর।

[A man standing between two parallel cliffs fires a rifle. He hears the first echo after $1\frac{1}{2}$ sec. then a second echo $2\frac{1}{2}$ sec. after shot ; then a third echo. Explain how those echoes are produced. Calculate how many seconds elapsed between the shot and the third echo and calculate the distance apart of the two cliffs.] [Ans. 4 sec., 2240 ft.]

18. কোন ব্যক্তি পাহাড়ের সামনে বন্দুক ছুঁড়িল। পাহাড়টির দূরত্ব 1680 ফুট এবং শব্দের গতিবেগ 1120 ফুট/সে. হইলে কতক্ষণ পরে প্রতিধ্বনি শোনা যাইবে ?

[A man fires a gun in front of a hill. If the distance of the hill be 1680 ft, and the velocity of sound be 1120 ft./sec., then find the time after which he will hear the echo.] [Ans. 3 sec.]

19. A man standing away from a cliff at a distance of 400 metres hears the echo of a sound after 2·5 seconds ; find the velocity of sound in air. [Ans. 320 metres/sec.]

20. A man standing on the bank of a river fires a gun. The sound after reflection at the trees on the other bank of the river reaches him after 1·2 second. If the velocity of sound in air be 320 metres/sec., find the width of the river at that place. [Ans. 192 metres]

21. To locate the position of a submarine, ultrasonic waves are transmitted which after reflection at the submarine, reach the surface of the ocean after 1·6 second. Find the position of the submarine. (Velocity of sound in water=4800 ft./sec). [Ans. 3840 ft.]

22. An aeroplane is flying horizontally at a speed of 480 m. p. h. The pilot fires a gun and hears the echo from the ground after an interval of 8 seconds. If the velocity of sound in air be 1120 ft./sec., then find the height of the aeroplane. [Ans. 3484 ft.]

23. A man by the side of a lake sees the steam from the whistle of a steamer on the lake. Three seconds later he hears the echo of the whistle from a cliff behind the steamer and at the other side of the lake, What is the width of the lake ? (Velocity of sound 1100 ft./sec). [C. U. 1958]

তৃতীয় অধ্যায়

তরঙ্গের উপরিপাত

(Superposition of Waves)

3.1. **তরঙ্গের উপরিপাত ও ইহার নীতি** (Superposition of waves and its principle) **:** বৈজ্ঞানিক টমাস ইয়ং সর্বপ্রথম তরঙ্গের উপরিপাতের কথা উল্লেখ করেন। মাধ্যমের একই অংশের ভিতর দিয়া একই সময়ে একাধিক তরঙ্গ সঞ্চারিত হইতে পারে এবং সঞ্চরণের সময় তরঙ্গগুলি পরস্পর পরস্পরকে প্রভাবিত করে না। অর্থাৎ একাধিক তরঙ্গ একই সময়ে মাধ্যমের কোন অংশের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইয়া চলিয়া গেলে মাধ্যমে কোন চিহ্ন রাখিয়া যায় না। সুতরাং বলা যাইতে পারে যে, সেই সময়ে তরঙ্গগুলি পরস্পর পরস্পরকে কোনরূপে প্রভাবিত করে নাই। কিন্তু মাধ্যমের কোন কণার মোট সরণ বিভিন্ন তরঙ্গের উপর নির্ভর করিবে। মাধ্যমের কোন অংশে একই সময়ে একাধিক তরঙ্গ আপতিত হইলে সেই ঘটনাকে **তরঙ্গের উপরিপাত** বলা হয়। তরঙ্গের উপরিপাতের নীতি অনুসারে যে কোন মুহূর্তে কোন বিন্দুর লব্ধি সরণ সেই মুহূর্তে ঐ বিন্দুতে বিভিন্ন তরঙ্গ সমূহ বিচ্ছিন্নভাবে যে সমস্ত সরণ ঘটাইতে পারিত তাহাদের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান হইবে। কোন নির্দিষ্ট সময়ে দুইটি তরঙ্গের জন্য কোন বিন্দুর সরণের পরিমাণ $y_1(t)$ এবং $y_2(t)$ হইলে সেই সময়ে সেই বিন্দুতে লব্ধি সরণ, $y(t)=y_1(t)+y_2(t)$ হইবে। তরঙ্গগুলির গতির অভিমুখ, কম্পাঙ্ক এবং বিস্তার বিভিন্ন হইলেও উপরিপাতের নীতি প্রযুক্ত হইবে। স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি, ব্যতিচার (Interference) এবং স্বরকম্প (Beats) ইত্যাদি একাধিক তরঙ্গের উপরিপাতের জন্য ঘটিয়া থাকে।

3.2. **স্থাণু তরঙ্গ** (Stationary waves) **:** তরঙ্গের উপরিপাতের জন্য স্থাণু তরঙ্গের উৎপত্তি হয়। কোন সমসত্ত্ব স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে দুইটি একই ধরনের চলতরঙ্গ বিপরীত দিকে সঞ্চারিত হইতে থাকিলে স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি হয়। স্থাণু তরঙ্গ মাধ্যমের কোন নির্দিষ্ট স্থানে আবদ্ধ থাকে এবং সময়ের সহিত উহার কোন অগ্রগতি ঘটে না। তাছাড়া স্থাণু তরঙ্গের বিভিন্ন বিন্দুতে মাধ্যমের কণাগুলির কম্পনের বিস্তার বিভিন্ন হইবে এবং কতকগুলি বিন্দু সর্বদাই স্থির থাকিবে ও কতকগুলি বিন্দুর সরণ সর্ব্বদাই সর্বোচ্চ থাকিবে।

3·3 **গাণিতিক পদ্ধতিতে স্থাণু তরঙ্গের ব্যাখ্যা** (Explanation of stationary waves by analytical method) : ধনাত্মক অভিমুখে সঞ্চারিত কোন চলতরঙ্গকে যে সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যাইতে পারে, তাহা

$$y_1 = a \sin \omega\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

যেখানে a=তরঙ্গের বিস্তার, ω=কৌণিক গতিবেগ এবং v=তরঙ্গের গতি।

চলতরঙ্গটি ঋণাত্মক অভিমুখে সঞ্চারিত হইলে সমীকরণটি নিম্নের রূপ ধারণ করিবে—

$$y = a \sin \omega\left(t + \frac{x}{v}\right)$$

বিপরীতমুখী তরঙ্গ দুইটির উপরিপাত ঘটিলে এবং যে কোন মুহূর্তে লব্ধি সরণের পরিমাণ y হইলে,

$$y = y_1 + y_2 = a \sin \omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + a \sin \omega\left(t + \frac{x}{v}\right)$$

$$= 2a \cos \frac{\omega x}{v} \sin \omega t = 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \omega t$$

$$\left[\because \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi n}{n\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda}\right]$$

$$= 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cdot \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t$$

যেখানে λ=তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং T=গতির পর্যায়কাল। উপরের সমীকরণটি সরল দোলগতি সূচিত করিলেও দশার কোন পার্থক্য নাই বলিয়া দোলগতিটি চলতরঙ্গ সূচিত করিবে না অর্থাৎ স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি হইবে।

উপরের সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার $= 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda}$

x-এর মান বিভিন্ন হইলে বিস্তারের মানও বিভিন্ন হইবে অর্থাৎ স্থাণু তরঙ্গের বিভিন্ন বিন্দুতে মাধ্যমের কণাগুলির কম্পনের বিস্তার বিভিন্ন হইবে।

বিশেষ ক্ষেত্র :

(i) **নিস্পন্দ বিন্দু :** $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4} \cdots\cdots, (2n+1)\frac{\lambda}{4}$ (n=0, 1, 2, 3 ইত্যাদি) হইলে বিস্তারের মান সর্বদাই শূন্য থাকিবে এবং এই বিন্দুগুলিকে নিস্পন্দ বিন্দু বলা হয়। স্পষ্টতঃই পর পর দুইটি নিস্পন্দ বিন্দুর অন্তর্বর্তী দূরত্ব $\lambda/2$ হইবে।

(ii) **সুস্পন্দ বিন্দু :** $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda \cdots\cdots n\lambda$ (n=0, 1, 2, 3 ইত্যাদি)

হইলে বিস্তারের মান সর্বদাই সর্বাধিক হইবে। এই সমস্ত অবস্থানে অবস্থিত বিন্দুগুলিকে সুস্পন্দ বিন্দু বলা হয়। স্পষ্টতঃই পর পর দুইটি সুস্পন্দ বিন্দুর অন্তর্বর্তী দূরত্ব $\lambda/2$ হইবে।

3.4. **স্থাণু তরঙ্গের ধর্ম** (Properties of stationary waves): (i) কোন মাধ্যমে দুইটি একই ধরনের বিপরীতমুখী চলতরঙ্গ পরস্পরের উপর আপতিত হইয়া স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করে। এই ধরনের তরঙ্গ মাধ্যমের কোন নির্দিষ্ট স্থানে আবদ্ধ থাকে এবং সময়ের সহিত উহার কোন অগ্রগতি ঘটে না।

(ii) স্থাণু তরঙ্গের বিভিন্ন বিন্দুতে মাধ্যমের কণাগুলির কম্পনের বিস্তার বিভিন্ন হইবে। যে সমস্ত বিন্দুগুলি সর্বদাই স্থির থাকে তাহাদিগকে **নিস্পন্দ বিন্দু** এবং যেগুলির সরণ সর্বদাই সর্বোচ্চ থাকে তাহাদিগকে **সুস্পন্দবিন্দু** বলে। বিন্দুর মধ্যে কণাগুলির দশা একই কিন্তু বিস্তার বিভিন্ন হইয়া থাকে। পর পর যে কোন দুইটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যস্থিত অংশকে **ফাঁস** বা **লুপ** (loop) বলে।

(iv) পর পর দুইটি ফাঁসের কণাগুলির সরণ বিপরীত দিকে হইয়া থাকে।

(v) স্থাণু তরঙ্গের ক্ষেত্রে প্রত্যেক পূর্ণ কম্পনে মাধ্যমের কণাগুলি দুইবার স্থির অবস্থানে আসে।

(vi) নিস্পন্দ এবং সুস্পন্দ বিন্দুতে চাপের তথা ঘনত্বের পরিবর্তন যথাক্রমে সর্বাধিক এবং সর্বনিম্ন হইয়া থাকে।

(vii) মাধ্যমের নির্দিষ্ট অংশে স্থাণু তরঙ্গের পর্যায়ক্রমে উদ্ভব ও অবলুপ্তি ঘটিয়া থাকে এবং সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুগুলি পর্যায়ক্রমে স্থাণুতরঙ্গ বরাবর বিদ্যমান থাকে।

3.5. **চলতরঙ্গ ও স্থাণু তরঙ্গের পার্থক্য** (Distinction between Progressive and Stationary waves):

চল তরঙ্গ	স্থাণু তরঙ্গ
1. সময়ের সহিত কোন তরঙ্গ অগ্রসর হইতে থাকিলে সেই তরঙ্গকে চল-তরঙ্গ বলা হয়।	1. কোন মাধ্যমে দুইটি একই ধরনের বিপরীতমুখী চলতরঙ্গ পরস্পরের উপর আপতিত হইয়া স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি করে। এই ধরনের তরঙ্গ মাধ্যমের কোন নির্দিষ্ট স্থানে আবদ্ধ থাকে এবং সময়ের সহিত উহার কোন অগ্রগতি ঘটে না।

চল তরঙ্গ	স্থাণু তরঙ্গ
2. মাধ্যমের প্রত্যেকটি কণা পর্যায়ক্রম গতি লাভ করে এবং উহাদের কম্পাঙ্ক তরঙ্গের কম্পাঙ্কের সহিত সমান হয়।	2. নিস্পন্দ বিন্দুগুলি সর্বদাই স্থির থাকে কিন্তু অন্যান্য কণাগুলি পর্যায়ক্রম গতি লাভ করে।
3. মাধ্যমের কণাগুলির বিস্তার সমান হইলেও কোন নির্দিষ্ট সময়ে উহাদের সরণ সমান হয় না।	3. বিভিন্ন কণার বিস্তার বিভিন্ন হইয়া থাকে।
4. চলতরঙ্গে বস্তু কণাগুলির কম্পনদশা তরঙ্গের বিস্তার রেখা বরাবর পরবর্তী কণাতে হস্তান্তরিত হয়।	4. স্থাণুতরঙ্গে দুইটি পরপর নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে কণাগুলির দশা একই কিন্তু বিস্তার বিভিন্ন হইয়া থাকে।
5. চলতরঙ্গে মাধ্যমের কণাগুলি কখনও একই সময় স্থির অবস্থায় আসে না।	5. প্রত্যেক পূর্ণ কম্পনে মাধ্যমের কণা-গুলি দুইবার স্থির অবস্থানে আসে।
6. চলতরঙ্গের ক্ষেত্রে যে কোন বিন্দুতে চাপ, ঘনত্ব ইত্যাদি একই ভাবে পরিবর্তিত হয়।	6. নিঃস্পন্দ এবং সুস্পন্দ বিন্দুতে চাপের তথা ঘনত্বের পরিবর্তন যথাক্রমে সর্বাধিক এবং সর্বনিম্ন হইয়া থাকে।

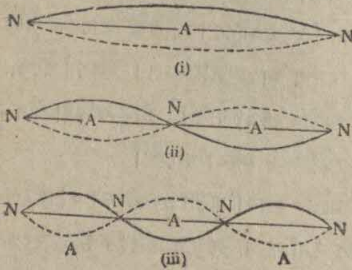
3-6. **তারের কম্পন** (Vibration of strings): তারের কম্পন আলোচনা কালে তারটিকে সুষম (uniform) এবং সম্পূর্ণভাবে নমনীয় (perfectly flexible) ধরিয়া লইতে হইবে। কোন তার অনুদৈর্ঘ্য ভাবে (longitudinally) অথবা তির্যকভাবে (transversely) কম্পিত হইতে পারে তারের একটি প্রান্তকে শক্তভাবে আটকাইয়া অপর প্রান্তে হরিণের চামড়া বা ভিজা ফ্ল্যানেল দিয়া লম্বালম্বি-ভাবে টানিতে থাকিলে তারটিতে অনুদৈর্ঘ্য কম্পন উৎপন্ন হইবে। কিন্তু তারের এই ধরনের কম্পন আমাদের ব্যবহারিক জীবনে বিশেষ কাজে লাগে না। অপর পক্ষে, তারের তির্যক কম্পনের অনেক ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখা যায়। টান করিয়া বাঁধা নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের তারের মধ্যে সাধারণতঃ স্থানু তরঙ্গের সৃষ্টি হইয়া থাকে।

দুই প্রান্তে টান দিয়া বাঁধা তারকে টানিলে অথবা আঘাত করিলে তারটিতে তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন হইবে। এই তরঙ্গগুলি নির্দিষ্ট গতিবেগে তারের উভয়দিকে সঞ্চালিত হইতে থাকে এবং বাঁধা প্রান্ত দুইটিতে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে। প্রতিফলিত তরঙ্গ এবং অগ্রসরমান তরঙ্গের মিলনে তারটিতে **স্থাণু তরঙ্গের** (Stationary Waves) সৃষ্টি হয়। এই স্থাণু তরঙ্গ তির্যক ধরনের হইবে। 3(ক)নং চিত্রে তারের বিভিন্ন ধরনের স্থাণু তরঙ্গ দেখানো হইয়াছে। স্থাণু তরঙ্গের ক্ষেত্রে

কতকগুলি বিন্দুর (চিত্রে N বিন্দুগুলির) আদৌ স্পন্দন থাকে না। এই সমস্ত বিন্দুগুলিকে **নিস্পন্দ বিন্দু** (Ncdes) বলা হয়। অপর পক্ষে, কতকগুলি বিন্দুর (চিত্রে A বিন্দুগুলি) স্পন্দন সর্বদাই সর্বাধিক। এই সমস্ত বিন্দুগুলিকে **সুস্পন্দ বিন্দু** (antinodes) বলা হয়। স্থাণু তরঙ্গের দৈর্ঘ λ হইলে দুইটি পাশাপাশি সুস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব $\lambda/2$ হইবে। দুমুখ খোলা অথবা একমুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভেও উপযুক্ত অবস্থায় স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি করা যাইতে পারে।

3.7. **তারের তির্যক কম্পন** (Transverse vibration of a string) : দুই প্রান্তে টান দিয়া বাঁধা তারকে টানিলে অথবা আঘাত করিলে তারটিতে তির্যক তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই তরঙ্গগুলি তারের উভয় দিকে নির্দিষ্ট গতিবেগে সঞ্চালিত হয় এবং দুইপ্রান্তে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে। অগ্রগামী তরঙ্গের ও প্রতিফলিত তরঙ্গের মিলনে তারটিতে স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। তারটির কোন্ বিন্দুকে উত্তেজিত করা হইয়াছে তাহার উপর স্থাণু তরঙ্গের দৈর্ঘ্য নির্ভর করিবে। কিন্তু যে কোন ক্ষেত্রেই তারটির দুইপ্রান্তে নিস্পন্দ বিন্দু সূচিত করিবে। তারটির মধ্যবিন্দুকে উহার দৈর্ঘ্যের সমকোণে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে তারটি তির্যকভাবে কাঁপিতে থাকিবে। এই ক্ষেত্রে তারটির দুইপ্রান্তে দুইটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকিবে [চিত্র 3ক (i)] এই সময়ে তারটি মূলস্বর (fundamental tone) সৃষ্টি করিবে। আমরা জানি দুইটি পাপাপাশি নিস্পন্দ বিন্দুর অন্তর্বর্তী দূরত্ব তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেকের সমান। সুতরাং তারের দৈর্ঘ্য l এবং মূল স্বরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ হইলে, $l=\frac{\lambda}{2}$ হইবে।

মূলস্বরের কম্পাঙ্ক n ধরিলে, $n=\frac{V}{\lambda}=\frac{V}{2l}$



চিত্র—3 ক

তারটির এক চতুর্থাংশ দূরত্বে সমকোণে আঘাত করিলে বা টান দিয়া ছাড়িয়া দিলে তারটিতে তিনটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু দেখা যাইবে। [চিত্র 3ক (ii)]।

উপজাত স্বরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং কম্পাংক যথাক্রমে λ_1 এবং n_1 হইলে $l=\lambda_1$ হইবে। তরঙ্গের গতিবেগ V ধরা হইলে,

$$V=n_1\lambda_1 \quad \therefore \quad n_1=\frac{V}{\lambda_1}=\frac{V}{l}=2\times\frac{V}{2l}=2n$$

সুতরাং, এইক্ষেত্রে কম্পাংক মূলকম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হইবে।

[3-ক (iii)] নং চিত্রে যে ধরনের কম্পন ঘটিতেছে তাহাতে চারটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং তিনটি সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হইয়াছে। এইক্ষেত্রে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_3 এবং কম্পাঙ্ক n_3 হইলে, $l=\frac{3}{2}\lambda_3$ হইবে।

$$\therefore \quad n_3=\frac{V}{\lambda_3}=\frac{3V}{2l}=3n.$$

সুতরাং এইক্ষেত্রে উপজাত কম্পাঙ্ক মূল কম্পাঙ্কের তিনগুণ হইল। তারটিকে মধ্য স্থলে উত্তেজিত করিয়া উহার যে কোন প্রান্ত হইতে এক-তৃতীয়াংশ দূরে সামান্য স্পর্শ করিলে এই ধরনের কম্পন সৃষ্টি করা যাইবে। এইরূপে তারটিকে উপযুক্তভাবে বিভিন্ন স্থানে আঘাত করিয়া অন্যান্য সমমেলগুলি (harmonics) সৃষ্টি করা সম্ভব। তারটিকে যে কোনোভাবে আঘাত করিলে বিভিন্ন উপস্বরের (overtones) সৃষ্টি হইবে। কিন্তু সেক্ষেত্রে সৃষ্ট উপস্বরের সবগুলি সমমেল না-ও হইতে পারে।

3-8. তারের তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক (Frequency of transverse vibration of a string) : l দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট এবং প্রতি একক দৈর্ঘ্যে m ভর বিশিষ্ট তারের টান T এবং ঐ তারে তির্যক তরঙ্গের গতিবেগ V হইলে প্রমাণ করা যাইতে পারে যে, $V=\sqrt{\frac{T}{m}}$.

তির্যক তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এবং কম্পাঙ্ক যথাক্রমে λ এবং n হইলে আমরা জানি,

$$V=n.\lambda \quad \text{বা,} \quad n=\frac{V}{\lambda}=\frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

তারটি মূলস্বরে কম্পিত হইলে $l=\lambda/2$ বা, $\lambda=2l$ হইবে।

$$\therefore \quad n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}.$$

তারটি অন্যান্য স্বরে কম্পিত হইলে, উপরের সমীকরণে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের উপযুক্ত মান বসাইতে হইবে।

3-9. তারে তির্যক কম্পনের মূল কম্পাঙ্ক (Fundamental frequency of transverse vibration of a string) : কোন তার তির্যকভাবে মূলস্বরে কম্পিত হইলে উহার কম্পনাঙ্ক নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে পাওয়া যাইবে—

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}.$$

এখানে n=তারে তির্যক কম্পনের কম্পনাঙ্ক ;
l=তারের দৈর্ঘ্য ;
T=তারের টান ;
এবং m=তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর।

সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে l সেন্টিমিটারে ; T ডাইন/বর্গ সেমি.-তে এবং m গ্রাম/সেমি.-তে প্রকাশিত হয়।

3-10. **তারের তির্যক কম্পনের নিয়মাবলী** (Laws of transverse vibration of a string) : টান করা কোন তারের তির্যক কম্পনের ক্ষেত্রে মূল সুরের কম্পাঙ্ক কতকগুলি নিয়ম মানিয়া চলে। যথা—

(i) **দৈর্ঘ্যের নিয়ম** (Law of length) : তির্যকভাবে কম্পমান তারের টান (T) এবং প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) অপরিবর্তিত থাকিলে তারের কম্পাঙ্ক উহার দৈর্ঘ্যের (l) ব্যস্তানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ T ও m অপরিবর্তিত থাকিলে, $n \propto 1/l$.

(ii) **টানের নিয়ম** (Law of tension) : তির্যকভাবে কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য (l) এবং প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) অপরিবর্তিত থাকিলে তারের কম্পাংক উহার টানের (T) বর্গমূলের সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ l ও m অপরিবর্তিত থাকিলে, $n \propto \sqrt{T}$.

(iii) **ভরের নিয়ম** (Law of mass) : তির্যকভাবে কম্পমান তারের টান (T) ও দৈর্ঘ্য (l) অপরিবর্তিত থাকিলে তারের কম্পাঙ্ক উহার প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভরের (m) বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ T ও l অপরিবর্তিত থাকিলে, $n \propto 1/\sqrt{m}$

ভরের এই নিয়মটিকে ভাঙ্গিয়া (a) **ব্যাসের নিয়ম** এবং (b) **ঘনত্বের নিয়মে** প্রকাশ করা যাইতে পারে। তারটির ব্যাস d ও ঘনত্ব ρ হইলে,

$$m = \frac{\pi d^2}{4}\rho \qquad \therefore \quad \frac{1}{\sqrt{m}} = \frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{\rho} \cdot d}$$

(a) **ব্যাসের নিয়ম** (Law of diameter) : তির্যকভাবে কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য, টান এবং উপাদান অপরিবর্তিত থাকিলে তারের কম্পাঙ্ক উহার ব্যাসের ব্যস্তানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ, l, T এবং ρ অপরিবর্তিত থাকিলে, $n \propto 1/d$.

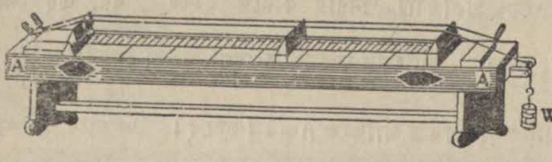
সুতরাং একই অবস্থায় মোটা তারের কম্পাংক কম হইবে।

(b) **ঘনত্বের নিয়ম** (Law of density) : তির্যকভাবে কম্পমান তারের

দৈর্ঘ্য, টান এবং ব্যাস অপরিবর্তিত থাকিলে তারের কম্পাঙ্ক উহার ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ l, T এবং d অপরিবর্তিত থাকিলে, $n \propto 1/\sqrt{\rho}$.

3-11. সনোমিটার (Sonometer)**:** সনোমিটারের সাহায্যে তারের তির্যক কম্পনের নিয়মাবলীর সত্যতা প্রমাণ করা যাইতে পারে। ইহার সাহায্যে কোন স্বরশলাকার কম্পাঙ্কও নির্ণয় করা সম্ভব।

এই যন্ত্রে একটি আয়তাকার ফাঁপা কাঠের বাক্স (A) এবং বাক্সের উপর লম্বালম্বি ভাবে একটি তার আটকানো থাকে [চিত্র 3থ]। তারটির একপ্রান্ত একটি খুঁটির সহিত আটকানো। উহার অপরপ্রান্ত একটি মসৃণ কপিকলের উপর দিয়া কতকগুলি ওজনের সহিত সংযুক্ত থাকে। তারটিকে কাঠের বাক্সের উপর অবস্থিত তিনটি কাঠের



চিত্র—3 থ

সেতুর উপর রাখা হয়। সেতুগুলির মধ্যে দুইপ্রান্তের সেতু দুইটি স্থির (fixed) এবং মাঝখানের সেতুটি সঞ্চরণশীল (movable)। ওজনের পরিবর্তন করিয়া তারের টান এবং সঞ্চরণশীল সেতুকে সরানড়া করিয়া কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করা সম্ভব। সাধারণতঃ সনোমিটার যন্ত্রে মূল তারের পাশাপাশি আর একটি টানকরা তার থাকে। এই তারটিকে **নির্দেশক তার** (reference wire) বলা হয়। বাক্সটির উপর অবস্থিত মিটার স্কেলের সাহায্যে কম্পনশীল তারের প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্য পাওয়া যায়। তারটি কাঁপিতে থাকিলে পরবশ কম্পনের জন্য ফাঁপা কাঠের বাক্সটি শব্দকে জোরালো করিয়া দেয়।

3-12. তারের তির্যক কম্পনের নিয়মাবলীর সত্যতা পরীক্ষা (Experimental verification of the laws of transverse vibrations of a string)**:** সনোমিটারের সাহায্যে তারের তির্যক কম্পনের নিয়মাবলীর সত্যতা প্রমাণিত করা সম্ভব।

(*i*) **দৈর্ঘ্যের নিয়ম** (Law of length)**:**

ওজনের হুকটিতে উপযুক্তমানের ওজন চাপাইয়া সনোমিটারের তারটিকে টান করা হইল। বিভিন্ন কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট স্বরশলাকা লইয়া পরীক্ষাটি করিতে হইবে। এইরূপ দুইটি স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_1 ও n_2 ধরা হইল। এইবার প্রথম

সুরশলাকাটিকে কম্পনশীল অবস্থায় কাঠের বাক্সের উপর ধরিয়া সঞ্চরণশীল কাঠের সেতুটিকে এমনভাবে সরানড়া করিতে হইবে যাহাতে উৎপন্ন শব্দ সর্বাপেক্ষা জোরালো হয়। এই অবস্থায় কম্পনশীল তারের এবং সুরশলাকার কম্পনের মিল (unison) ঘটিয়াছে বুঝিতে হইবে। এই সময় তারের কম্পনশীল অংশের মাঝামাঝি V-আকারের একটি ছোট কাগজের টুকরা রাখিলে কাগজের টুকরাটি সজোরে কাঁপিতে থাকিবে এবং ছিট্‌কাইয়া পড়িয়া যাইবে। এইরূপ হইলে বুঝিতে হইবে যে অনুনাদী কম্পন সংঘটিত হইতেছে অর্থাৎ তারের কম্পনশীল অংশের স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক সুরশলাকার কম্পাঙ্কের সমান হইয়াছে। ধর, এই সময়ে তারটির কম্পনশীল অংশের দৈর্ঘ্য l_1 হইল। **তারটির টান কোনরূপ পরিবর্তিত না করিয়া**, দ্বিতীয় সুরশলাকাটি লইয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করিতে হইবে। ধর, এই ক্ষেত্রে তারটির নির্ণেয় দৈর্ঘ্য l_2 হইল। পরীক্ষার ফল হইতে দেখা যাইবে যে, $\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1}$

অর্থাৎ, টান অপরিবর্তিত থাকিলে $n\propto 1/l$ হইবে। এইভাবে পরীক্ষার সাহায্যে দৈর্ঘ্যের নিয়ম প্রমাণিত হইল।

(ii) **টানের নিয়ম** (Law of tension) :

এই নিয়মটি পরীক্ষা করিবার জন্য মূল তারের পাশাপাশি নির্দিষ্ট টানে একটি নির্দেশক তার (reference wire) রাখিতে হইবে। এইবার ওজন চাপাইয়া মূল তারটিতে টান (ধর, T_1) দেওয়া হইল। উপযুক্তভাবে নির্দেশক তারের সঞ্চরণশীল সেতুটি সরাইয়া উহার সুরকে মূলতারের নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের সুরের সহিত মিল (unison) করা হয়। ধর, এই অবস্থায় নির্দেশক তারের কম্পনশীল অংশের দৈর্ঘ্য l_1 হইল। এইবার মূল তারের টান T_2 করিয়া নির্দেশক তারের সঞ্চরণশীল সেতুটিকে উপযুক্ত-ভাবে সরাইয়া পরীক্ষাটি পুনরায় করিতে হইবে। ধর, এই ক্ষেত্রে নির্দেশক তারের কম্পনশীল অংশের দৈর্ঘ্য l_2 হইল। পরীক্ষার ফল হইতে দেখা যাইবে যে,

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{l_2^2}{l_1^2}$$

কিন্তু দৈর্ঘ্যের নিয়মানুসারে, $\frac{l_2^2}{l_1^2}=\frac{n_1^2}{n_2^2}$.

$\therefore\ \frac{n_1^2}{n_2^2}=\frac{T_1}{T_2}$ বা, $n\propto\sqrt{T}$.

সুতরাং, পরীক্ষার সাহায্যে টানের নিয়ম প্রমাণিত হইল।

(iii) ভরের নিয়ম (Law of mass) :

এক্ষেত্রেও নির্দেশক তারটিকে নির্দিষ্ট টানে রাখিতে হইবে। মূল তারটির টান T এবং প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর m_1 ধরা হইল। এই তারটির নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য l হইতে নির্গত স্বরের সহিত নির্দেশক তারের l_1 দৈর্ঘ্যের স্বরের মিল (unison) করা হইল। এইবার মূলতারটিকে পরিবর্তিত করিয়া আর একটি তারকে পূর্বেকার টানে অর্থাৎ T-তে রাখা হয়। এই তারটির প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ভরের পরিমাণ m_2 ধরা হইল। এই তারের কম্পনশীল l দৈর্ঘ্যের স্বরের সহিত নির্দেশক তারের l_2 দৈর্ঘ্যের স্বরের মিল করা হইল। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে যে, $\frac{m_2}{m_1}=\frac{l_2^2}{l_1^2}$

কিন্তু দৈর্ঘ্যের নিয়মানুসারে,

$$\frac{l_2}{l_1}=\frac{n_1}{n_2} \qquad \therefore \frac{n_1^2}{n_2^2}=\frac{m_2}{m_1}$$

সুতরাং, $n^2 \propto \frac{1}{m}$ বা, $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$

এইরূপে পরীক্ষার সাহায্যে ভরের নিয়ম প্রমাণিত হইল।

3.13. **সনোমিটারের সাহায্যে স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়** (Determination of frequency of a tuning fork by a sonometer) : সনোমিটারের সাহায্যে স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যাইতে পারে। কম্পনশীল অবস্থায় স্বরশলাকাটিকে সনোমিটারের বাক্সের উপর ধরিতে হইবে। এইবার সঞ্চরনশীল কাঠের সেতুটিকে এমনভাবে সরাইতে হইবে যাহাতে তারটির কম্পনশীল অংশের স্বর এবং স্বরশলাকার স্বরের মিল (unison) হইয়া যায়। স্বরের ঠিক ঠিক মিল হইয়াছে কিনা তাহা কাগজের আরোহীর (rider) সাহায্যেও বোঝা যাইতে পারে। এই অবস্থায় তারের টান T, কম্পনশীল অংশের দৈর্ঘ্য l এবং প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভরের পরিমাণ m হইলে,

$$\text{স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক, } n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}.$$

পরীক্ষার সাহায্যে l, T এবং m-এর মান বাহির করিয়া স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যাইতে পারে।

3 14. **তারের যন্ত্র** (Stringed instruments) : তারের তির্যকতরঙ্গের নীতি অবলম্বন করিয়া এই ধরনের যন্ত্রগুলি তৈয়ারী করা হয়। এই সমস্ত যন্ত্রে টানকরা অবস্থায় কতকগুলি ধাতব তার অথবা পশুর অন্ত্র হইতে নির্মিত ছিলা বর্তমান থাকে।

এই সমস্ত যন্ত্রগুলি হইতে নিঃসৃত স্বরের কম্পাংক তারের টান, কম্পনশীল দৈর্ঘ্য ও ভরের উপর নির্ভরশীল। তারের বিভিন্ন অংশে উপযুক্ত ভাবে অঙ্গুলি স্থাপন করিয়া কম্পনশীল অংশের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করা হয়। ইহার ফলে নিঃসৃত স্বরের কম্পাংকও পরিবর্তিত হইয়া যায়। তারটিকে কি ভাবে উত্তেজিত করা হইল তাহার উপরেও



চিত্র—3 গ

কিছু পরিমাণে নিঃসৃত স্বরের কম্পাংককে নির্ভর করিতে দেখা যায়। উত্তেজিত করার ধরনের উপর নির্ভর করিয়া তারের যন্ত্রগুলিকে মোটামুটি তিনভাগে ভাগ করা হয়। প্রথম ধরনের ক্ষেত্রে তারটিকে উপযুক্ত ভাবে **টানিয়া** উহাতে কম্পন সৃষ্টি করা হয়। ইহাদের উদাহরণ হিসাবে গীটার, সেতার প্রভৃতির নাম করা যাইতে পারে। দ্বিতীয় ধরনের যন্ত্রে উপযুক্তভাবে হাতুড়ী দিয়া **আঘাত করিয়া** তারে কম্পন সৃষ্টি করা হয়। ইহার উদাহরণ হিসাবে পিয়ানোর নাম করা যাইতে পারে। তৃতীয় ধরনের যন্ত্রপাতিতে **ছড় টানিয়া** তারে কম্পন সৃষ্টি করা হয়। বেহালা, এস্রাজ ইত্যাদি ইহাদের উদাহরণ।

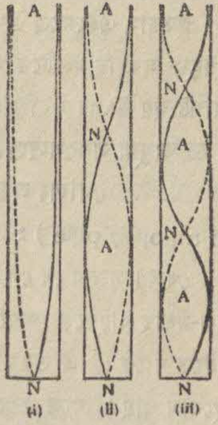
এই সমস্ত যন্ত্রগুলিতে (চিত্র 3গ) সাধারণতঃ ফাঁপা কাঠের বাক্স থাকে। তারের কম্পনের ফলে বাক্সের ভিতরে অবস্থিত বায়ুমাধ্যম পরবশ কম্পনে কম্পিত হয় এবং নিঃসৃত স্বরকে জোরালো করিয়া দেয়।

3.15. বায়ু-স্তম্ভের কম্পন (Vibration of air column) **:** কোন সীমাবদ্ধ বায়ু-স্তম্ভে একই ধরনের দুইটি বিপরীত-মুখী শব্দ তরঙ্গ মিলিত হইলে বায়ু-স্তম্ভে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। ফলে বায়ু-স্তম্ভের কণাগুলি কাঁপিতে থাকে এবং শব্দের সৃষ্টি হয়।

অর্থাৎ, বায়ু-স্তম্ভটি একটি স্বনক হিসাবে কাজ করে। কাঁচের শিশির মুখে অথবা শাঁখে ফুঁ দিলে এই কারণেই শব্দ সৃষ্টি হইয়া থাকে। বায়ু-স্তম্ভে স্থাণু-তরঙ্গ সৃষ্টি করা যায়—এই নীতি অবলম্বন করিয়া বিভিন্ন সুরের যন্ত্র তৈয়ারী করা হয়। ইহাদের উদাহরণ হিসাবে বাঁশী, অর্গ্যান নল, সানাই, বিউগল্, ক্ল্যারিওনেট ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। এই সমস্ত যন্ত্রগুলিতে সাধারণতঃ একটি নল থাকে এবং উপযুক্ত ভাবে নলটির ভিতর স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করা হয়। নলটির আকার, আয়তন এবং উহার মধ্যে অবস্থিত বায়ুস্তম্ভকে কম্পিত করিবার পদ্ধতির উপর নির্গত সুরের কম্পাংক নির্ভর করিবে। নলগুলি সাধারণতঃ দুই প্রকারের হইয়া থাকে। যথা (i) **বদ্ধনল** (closed pipe)—যাহার একমুখ খোলা ও একমুখ বদ্ধ এবং (ii) **খোলা নল** (open pipe)—যাহার দুই মুখই খোলা।

3.16. **বদ্ধনলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন** (Vibration of air column in a closed pipe) : একমুখ বদ্ধ সুষম নলের খোলামুখে কম্পমান কোন বস্তু রাখিলে অনুদৈর্ঘ্য শব্দতরঙ্গ নলটির বায়ুস্তম্ভের ভিতর দিয়া সঞ্চালিত হয় এবং বদ্ধপ্রান্তে প্রতিফলিত হইয়া আবার খোলামুখের দিকে ফিরিয়া আসিতে থাকে। প্রতিফলিত তরঙ্গটি নূতন আগন্তুক তরঙ্গের সহিত মিলিত হইয়া স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করে। ইহার ফলে বায়ু-স্তম্ভের কণাগুলি স্পন্দিত হইয়া সুরের সৃষ্টি করিয়া থাকে। নির্গত সুরের কম্পাংক স্থাণু-তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল।

নলটির বদ্ধ প্রান্তে বায়ুকণাগুলির কোন স্পন্দন হইতে পারে না। সেইজন্য এই প্রান্তে সর্বদাই একটি নিস্পন্দ বিন্দু (N) বর্তমান থাকিবে। অপরপক্ষে, নলের খোলামুখে বায়ুকণার স্পন্দন সর্বাপেক্ষা বেশী বলিয়া ঐ স্থানে সর্বদাই একটি সুস্পন্দ বিন্দু (A) বিদ্যমান থাকিবে (চিত্র 3ঘ)। নলটিতে কেবলমাত্র একটি সুস্পন্দ বিন্দু ও একটি নিস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হইলে যে স্থাণু-তরঙ্গ পাওয়া যাইবে তাহা সর্বাপেক্ষা সহজতম এবং দীর্ঘতম তরঙ্গ [চিত্র 3ঘ(i)]। এই সময়ে যে সুর নির্গত হইবে তাহাকে **মূল সুর** (fundamental tone) বলা হয়। আমরা জানি যে দুইটি পাশাপাশি সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব স্থাণু-তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ হয়। সুতরাং স্থাণু-তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ এবং নলের দৈর্ঘ্য l হইলে $l=\lambda/4$ বা, $\lambda=4l$.



চিত্র—3ঘ

শব্দের গতিবেগ V এবং মূলসুরের কম্পাংক n হইলে $V=n\lambda$ হইবে।

$$\therefore \quad n=\frac{V}{\lambda}=\frac{V}{4l}$$

এই সুরটির কম্পাংক নলের সম্ভাব্য অন্যান্য সুরের কম্পাংক অপেক্ষা কম হইবে।

নলের মুখে উপযুক্ত ভাবে জোরে ফুঁ দিয়া নলটিতে দুইটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন করা যাইতে পারে [চিত্র 3ঘ (ii)]। এইক্ষেত্রে স্থাণু-তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ_3 হইলে $l=\frac{3\lambda_3}{4}$ হইবে। উপজাত সুরের কম্পাংক n_3 ধরা হইল।

$$\therefore \quad V=n_3\lambda_3 \qquad \text{বা,} \quad n_3=\frac{V}{\lambda_3}=\frac{3V}{4l}=3n$$

সুতরাং এই ক্ষেত্রে উপজাত সুরের কম্পাংক মূল সুরের কম্পাংকের তিনগুণ হইবে।

নলটিতে আরও জোরে ফুঁ দিয়া উহাতে তিনটি নিস্পন্দ ও তিনটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন করা যাইতে পারে। এই ক্ষেত্রে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ_5 হইলে, $l=\frac{5\lambda_5}{4}$ হইবে। উপজাত সুরের কম্পাংক,

$$n_5=\frac{V}{\lambda_5}=5\times\frac{V}{4l}=5n$$

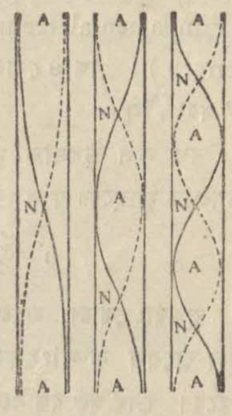
সুতরাং, এইক্ষেত্রে উৎপন্ন সুরের কম্পাংক মূল সুরের কম্পাংকের পাঁচগুণ হইবে। উপযুক্ত অবস্থায় নলটিতে মূল সুরের কম্পাংকের সাতগুণ, নয়গুণ ইত্যাদি কম্পাংক বিশিষ্ট সুর উৎপন্ন করা যাইতে পারে। সুতরাং **বন্ধনলে মূল সুরের কেবলমাত্র অযুগ্ম সমমেলগুলিই** (odd harmonics) **সৃষ্টি করা যাইতে পারে।**

3.17. **খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন** (Vibration of air column in an open pipe) :

খোলা নলের যে কোন প্রান্তে ফুঁ দিলে অথবা কোন কম্পমান বস্তু ধরিয়া রাখিলে নল-মধ্যস্থ বায়ুস্তম্ভে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং অপর প্রান্তের দিকে সঞ্চালিত হইতে থাকে। ঐ তরঙ্গ অপর প্রান্তে পৌঁছিয়া হঠাৎ চতুর্দিকে প্রসারিত হইবার সুযোগ পায়। ফলে তরঙ্গের এক অংশ মুক্ত বায়ুর মধ্যে প্রসারিত হয় এবং অপর অংশ প্রতিফলিত হইয়া পূর্বপথে ফিরিয়া আসে। মূল তরঙ্গ এবং প্রতিফলিত তরঙ্গের মিলনের ফলে নলের বায়ুস্তম্ভে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং কম্পমান বায়ুকণাগুলির জন্য সুরের উৎপত্তি ঘটে। স্থাণু-তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের উপর নিঃসৃত সুরের কম্পাংক নির্ভর করিবে।

নলটির দুই মুখই খোলা বলিয়া উভয় মুখেই বায়ুকণার স্পন্দন সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে। ফলে নলটির দুই মুক্ত প্রান্তে সর্বদাই দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু (A) বর্তমান থাকিবে (চিত্র 3ঙ)।

নলটিতে কেবলমাত্র দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু ও একটি নিস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হইলে যে স্থাণু-তরঙ্গ পাওয়া যাইবে তাহাই সর্বাপেক্ষা সহজতম এবং দীর্ঘতম তরঙ্গ [চিত্র 3ঙ (i)]। এই সময়ে যে স্বর নির্গত হইবে তাহাকে মূলস্বর বলা হয়। আমরা জানি যে পাশাপাশি দুইটি সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যেকার দূরত্ব স্থাণু-তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক। সুতরাং স্থাণু-তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ এবং নলের দৈর্ঘ্য l হইলে, $l=\lambda/2$ বা, $\lambda=2l$



চিত্র—3 ঙ

শব্দের গতিবেগ V এবং মূলস্বরের কম্পাংক n হইলে $V=n\lambda$ হইবে।

$$\therefore\quad n=\frac{V}{\lambda}=\frac{V}{2l}$$

এই স্বরটির কম্পাংক নলের সম্ভাব্য অন্যান্য স্বরের কম্পাংক অপেক্ষা কম হইবে।

নলের মুখে উপযুক্ত ভাবে জোরে ফুঁ দিয়া নলটিতে তিনটি সুস্পন্দ বিন্দু এবং দুইটি নিস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন করা যাইতে পারে [চিত্র 3ঙ (ii)]। এইক্ষেত্রে স্থাণুতরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ_1 হইলে $l=\lambda_1$ হইবে। উপজাত স্বরের কম্পাংক n_1 ধরা হইল।

$$\therefore\quad V=n_1\lambda_1 \text{ বা, } n_1=\frac{V}{\lambda_1}=\frac{V}{l}=2\times\frac{V}{2l}=2n$$

সুতরাং, এইক্ষেত্রে উপজাত স্বরের কম্পাংক মূল স্বরের কম্পাংকের দ্বিগুণ হইবে।

নলটিতে আরও জোরে ফুঁ দিয়া উহাতে চারিটি সুস্পন্দ বিন্দু ও তিনটি নিস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন করা যাইতে পারে [চিত্র 3ঙ (iii)]। এই ক্ষেত্রে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ_2 হইলে

$$l=\frac{3\lambda_2}{2} \text{ বা, } \lambda_2=\frac{2l}{3}$$

$$\therefore\quad \text{উপজাত স্বরের কম্পাংক, } n_2=\frac{V}{\lambda_2}=\frac{3V}{2l}=3n$$

সুতরাং, এই ক্ষেত্রে উৎপন্ন স্বরের কম্পাংক মূলস্বরের কম্পাংকের তিনগুণ হইল।

মূল স্বরের কম্পাংক n ধরা হইলে উপযুক্ত অবস্থায় নলটিতে $4n$, $5n$, ইত্যাদি কম্পাংক বিশিষ্ট স্বরগুলিও উৎপন্ন করা সম্ভব। অতএব, **খোলা নলে মূলস্বরের যুগ্ম এবং অযুগ্ম সমস্ত সমমেলগুলিই সৃষ্টি করা যাইতে পারে।**

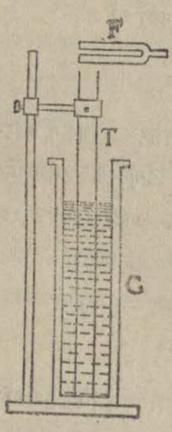
3.18. একই দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট বন্ধ ও খোলা নলে মূলস্বরের কম্পাঙ্ক (Fundamental frequencies in closed and open pipes of same length) : বন্ধ ও খোলা নলের প্রত্যেকটির দৈর্ঘ্য l এবং বায়ুস্তরে শব্দের গতিবেগ V ধরা হইল।

বন্ধ নলে উপজাত মূলস্বরের কম্পাংক n হইলে, $n=V/4l$, কিন্তু খোলা নলে উপজাত মূলস্বরের কম্পাংক n' হইলে

$$n'=\frac{V}{2l}=2\times\frac{V}{4l}=2n$$

সুতরাং **খোলা নলে মূলস্বরের কম্পাংক একই দৈর্ঘ্যের বন্ধ নলে সৃষ্ট মূল স্বরের কম্পাংকের দ্বিগুণ হয়।** অর্থাৎ প্রথম ক্ষেত্রে উপজাত স্বর চড়া হইবে। সেই জন্য বন্ধ নলে ফুঁ দেওয়া অবস্থায় উহার বন্ধ মুখটি খুলিয়া দিলে নিঃসৃত স্বরের তীক্ষ্ণতা বাড়িয়া যায়—অর্থাৎ স্বরটি চড়া হয়। অপরপক্ষে, খোলা নলে ফুঁ দেওয়া অবস্থায় উহার খোলা মুখটি হঠাৎ বন্ধ করিয়া দিলে উহা বন্ধনলে পরিণত হয় এবং উপজাত স্বরের তীক্ষ্ণতা কমিয়া যায়। এই ক্ষেত্রে নিঃসৃত স্বর খাদে নামিয়া যাইবে।

3.19. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ (Resonant air column) : পরীক্ষাগারে অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে বায়ু-মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ অথবা স্বরশলাকার কম্পাংক নির্ণয় করা যাইতে পারে। 3চ নং চিত্রে ব্যবস্থাটি দেখানো হইয়াছে। G একটি প্রায় জলপূর্ণ কাচের লম্বা জার। জারের ভিতরে দুইমুখ খোলা কাঁচের নল T আংশিকভাবে জলে ডোবানো আছে। ক্ল্যাম্পের সাহায্যে নলটিকে উল্লম্বভাবে রাখা যায়। জল বাতাস অপেক্ষা ঘনতর মাধ্যম বলিয়া T নলটি একমুখ খোলা নল হিসাবে কাজ করে।



চিত্র—3 চ

কোন স্বরশলাকার কম্পাংক নির্ণয় করিবার জন্য উহাকে রবারের হাতুড়ীর সাহায্যে উদ্দীপিত করিয়া T নলের খোলামুখের ঠিক উপরে ধরিতে হইবে। এইবার নলটিকে আস্তে আস্তে উপরে তুলিলে একসময় দেখা যাইবে স্বরশলাকার শব্দ সর্বাপেক্ষা জোরালো হইয়াছে। ইহা নলটির বায়ু-স্তম্ভে অনুনাদী কম্পনের জন্য ঘটিয়াছে বুঝিতে হইবে। এই সময় নলের বায়ু-স্তম্ভের স্বাভাবিক কম্পাংক স্বরশলাকার কম্পাংকের সমান হইবে। স্থাণুতরঙ্গের নীতি অনুসারে নলটির খোলামুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু

এবং বদ্ধ প্রান্তে একটি নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হইবে। খোলামুখ হইতে জলের উপরিতল পর্যন্ত নলটির দৈর্ঘ্য l, সুরশলাকার কম্পাংক n এবং উপজাত শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ হইলে,

$$l=\frac{\lambda}{4} \text{ বা, } \lambda=4l$$

বায়ুতে শব্দের গতিবেগ V হইলে, $V=n\lambda=4nl$

$$\therefore \quad n=\frac{V}{4l}$$

সুতরাং, শব্দের গতিবেগ জানা থাকিলে পরীক্ষার সাহায্যে l বাহির করিয়া সুরশলাকার কম্পাংক নির্ণয় করা সম্ভব।

সুরশলাকার কম্পাংক জানা থাকিলে পূর্বোক্ত সমীকরণ হইতে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করা যাইতে পারে।

প্রান্তিক ত্রুটির সংশোধন (End Correction) **:**

পূর্বের আলোচনায় নলটির ঠিক খোলামুখে সুস্পন্দ বিন্দুর উৎপত্তি ধরা হইয়াছে। কিন্তু প্রকৃত পক্ষে সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান ঠিক খোলা মুখে না হইয়া সামান্য উপরে হয়। নলটির ব্যাসার্ধ r হইলে, বৈজ্ঞানিক র‍্যালের (Rayleigh) মত অনুসারে সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নলটির খোলামুখের $0{\cdot}6r$ উপরে হইবে। সুতরাং অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্যকে l না ধরিয়া $l+0{\cdot}6r$ ধরা উচিত। এইভাবে প্রান্তিক ত্রুটির সংশোধন করা হয়। অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সঠিক দৈর্ঘ্য ধরা হইলে আমরা পাই,

$$n=\frac{V}{4(l+0{\cdot}6r)}$$

এইভাবে প্রান্তিক ত্রুটির সংশোধন করা হইলেও নানা কারণে কিছুটা অনিশ্চয়তা থাকিয়া যাইতে পারে। নিম্নলিখিত উপায় অবলম্বন করিয়া প্রান্তিক ত্রুটিকে সম্পূর্ণভাবে পরিহার করা সম্ভব।

উপরের পরীক্ষাটি করার পর নলটিকে আস্তে আস্তে তুলিলে দ্বিতীয়বার অনুনাদের সৃষ্টি হইবে। এই অবস্থায় নলটির বায়ুস্তম্ভে প্রথম সমমেল উৎপন্ন হইয়াছে বুঝিতে হইবে। প্রান্তিক ত্রুটি x এবং এই অবস্থায় অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l_1 হইলে,

$$l_1+x=\frac{3\lambda}{4}$$

প্রথম অনুনাদের ক্ষেত্রে $l+x=\frac{\lambda}{4}$

উপরের সমীকরণ দুইটিকে পরস্পর বিয়োগ করিলে,

$$l_1 - l = \frac{\lambda}{2} \text{ বা, } \lambda = 2(l_1 - l)$$

কিন্তু $V = n\lambda$

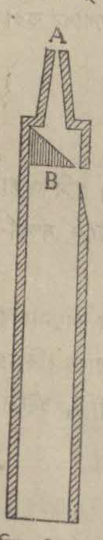
$$\therefore \quad n = \frac{V}{\lambda} = \frac{V}{2(l_1 - l)}$$

শব্দের গতিবেগ V জানা থাকিলে পরীক্ষার সাহায্যে l এবং l_1-এর মান জানিয়া স্বরশলাকার কম্পাংক n নির্ণয় করা যাইতে পারে। এই ক্ষেত্রে প্রান্তিক ত্রুটিকে সম্পূর্ণভাবে দূরীভূত করা হইয়াছে।

স্বরশলাকার কম্পাংক জানা থাকিলে উপরের সমীকরণ হইতে শব্দের গতিবেগও নির্ণয় করা যাইতে পারে। কিন্তু নলটির একমুখে জল থাকে বলিয়া নলের বায়ুস্তম্ভ জলীয় বাষ্পে সম্পৃক্ত থাকে। তাছাড়া পরীক্ষাটি স্বাভাবিক তাপমাত্রায় (room temperature) করা হইয়াছে। সুতরাং শুষ্ক বায়ুতে এবং $0°C$ তাপমাত্রায় শব্দের গতিবেগ জানিতে হইলে লব্ধ ফলকে আর্দ্রতা এবং তাপমাত্রার জন্য উপযুক্তভাবে সংশোধন করা প্রয়োজন।

3.20. অর্গ্যান নল (Organ Pipe) :

অর্গ্যান নল একধরনের বাদ্যযন্ত্র বিশেষ। এই যন্ত্রে ফাঁপা নলের সহিত একটি সূচালো মুখ (A) সংযুক্ত থাকে (চিত্র 3ছ)। ফাঁপা নলটি সাধারণতঃ কাঠের বা ধাতুর তৈয়ারী এবং উহা গোলাকার অথবা আয়তাকার প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট। ফাঁপা নল এবং সূচালো মুখের সংযোগস্থলে প্রিজ্‌ম্ আকারের একটি কাষ্ঠখণ্ড (B) থাকে। নলটির মুখে ফুঁ দিলে বায়ুপ্রবাহ B-এর ধারালো মুখে আবর্তের সৃষ্টি করে। এই আবর্তগুলি বিভিন্ন কম্পাংক-বিশিষ্ট হইতে পারে। কিন্তু ইহাদের মধ্যে যে কম্পাংকটি নলটির বায়ুস্তম্ভের স্বাভাবিক কম্পাংকের সমান হইবে তাহা বায়ুস্তম্ভে অনুনাদ সৃষ্টি করিবে। ইহার ফলে নলটি হইতে স্বর নির্গত হইবে। অর্গ্যান নল একমুখ খোলা অথবা দুইমুখ খোলা ধরনের হইতে পারে। একমুখ খোলা নলে কেবলমাত্র অযুগ্ম সমমেলগুলি উৎপন্ন হইতে পারে। কিন্তু দুইমুখ খোলা নলে যুগ্ম ও অযুগ্ম, দুইপ্রকার সমমেলকেই উৎপন্ন করা সম্ভব।



চিত্র—3 ছ

অর্গ্যান নলের কার্যকর দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিবার জন্য উপযুক্ত ব্যবস্থা থাকে।

3. 21. বায়ুচালিত বাদ্যযন্ত্র (Wind Instruments) :

এই সমস্ত বাদ্য যন্ত্রের কার্যনীতি বায়ুস্তম্ভে কম্পন সৃষ্টির নীতির উপর নির্ভরশীল। ইহাদের উদাহরণ হিসাবে বাঁশের বাঁশী, ফ্লুট, ক্ল্যারিওনেট, হার্মোনিয়াম ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে। 3 জ নং চিত্রে এই ধরনের কতকগুলি পরিচিত বাদ্য যন্ত্রের ছবি দেখানো হইয়াছে। বায়ু-চালিত বাদ্যযন্ত্রগুলিকে সাধারণতঃ দুইভাগে ভাগ করা



চিত্র—3 জ

হইয়া থাকে। এক ধরনের যন্ত্রে পত্রীর (reed) কম্পনের সাহায্যে বায়ুস্তম্ভে কম্পন সৃষ্টি করা হইয়া থাকে। পত্রীগুলি বেত অথবা ধাতু নির্মিত হইতে পারে। এই ক্ষেত্রে উপজাত সুরের কম্পাংক পত্রীর কম্পাংকের উপর নির্ভরশীল। এই ধরনের যন্ত্রের উদাহরণ হিসাবে ক্লারিওনেট, হার্মোনিয়াম, অর্গ্যান নল প্রভৃতির নাম করা যাইতে পারে। আর এক ধরনের যন্ত্রে উহার মধ্যস্থিত বায়ুস্তম্ভে স্বাভাবিক ভাবে কম্পন সৃষ্টি করা হয়। বাঁশের বাঁশী, ফ্লুট ইত্যাদি এই পর্যায়ভুক্ত।

3.22. তরঙ্গের ব্যতিচার (Interference of waves) :

মাধ্যমের কোন অংশে একই সময়ে একাধিক তরঙ্গ আপতিত হইলে সেই ঘটনাকে তরঙ্গের উপরিপাত বলা হয়। উপযুক্ত অবস্থায় একই কম্পাংকযুক্ত দুইটি তরঙ্গমালার উপরিপাতের ফলে তরঙ্গের ব্যতিচার ঘটিতে পারে। মনে কর, একই কম্পাংক ও বিস্তারযুক্ত দুইটি তরঙ্গমালা একই সময়ে মাধ্যমের ভিতর দিয়া অগ্রসর হইতেছে। ইহার ফলে মাধ্যমের যে কোন কণার বিস্তার তরঙ্গ দুইটির উপর নির্ভর করিবে। মাধ্যমের কোন বিন্দুতে একই দশায় পৌছাইলে অর্থাৎ প্রথম তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গপাদ যথাক্রমে দ্বিতীয় তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গপাদের উপর পড়িলে বিন্দুটির লব্ধ বিস্তারের পরিমাণ তরঙ্গ দুইটির বিস্তারের যোগফলের সমান হইবে। তরঙ্গদুইটির বিস্তার সমান হইলে লব্ধ বিস্তার দ্বিগুণ হইয়া যাইবে। পক্ষান্তরে, তরঙ্গ দুইটি বিপরীত দশায় মিলিত হইলে উভয়ের ক্রিয়া সর্বদা বিপরীত মুখী হইবে। ইহার ফলে

বিন্দুটিতে লব্ধ বিস্তারের পরিমাণ শূন্য হইবে। আমরা জানি, কোন তরঙ্গের প্রাবল্য উহার বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক। সেই হিসাবে প্রথমক্ষেত্রে লব্ধ তরঙ্গের প্রাবল্য যে কোন তরঙ্গের প্রাবল্যের চারগুণ হইবে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রাবল্য শূন্য হইবে। এই ধরনের ঘটনাকে **তরঙ্গের ব্যতিচার** বলা হয়। ব্যতিচারের জন্য প্রাবল্য বাড়িলে তাহাকে গঠনমূলক ব্যতিচার (constructive interference) এবং প্রাবল্য কমিলে তাহাকে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার (destructive interference) বলে। স্থায়ীভাবে ব্যতিচারের সৃষ্টির জন্য অবশ্য পালনীয় শর্তগুলি নিম্নে দেওয়া হইল :

(i) তরঙ্গ দুইটিকে একই প্রকৃতির হইতে হইবে অর্থাৎ উহাদের কম্পাঙ্ক, বিস্তার সমান হইবে।

(ii) তরঙ্গ দুইটি একই রেখা বরাবর কোন বিন্দুর সরণ সৃষ্টি করিবে।

(iii) তরঙ্গ দুইটির পারস্পরিক দশা সম্পর্ক (phase relation) সর্বদাই নির্দিষ্ট থাকিবে এবং তরঙ্গ দুইটি সকল সময়ে উপরের বিন্দুতে সমদশায় অথবা বিপরীত দশায় পৌছাইবে।

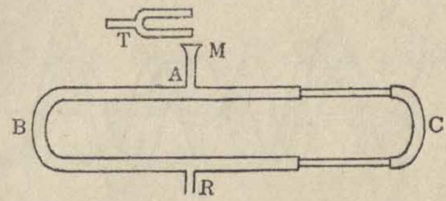
(iv) গঠনমূলক ও ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের জন্য তরঙ্গ দুইটির পথ-পার্থক্যকে যথাক্রমে $\lambda/2$-এর যুগ্ম ও অযুগ্ম গুণিতক হইতে হইবে।

শব্দ তরঙ্গ, আলোক তরঙ্গ ইত্যাদি যেকোন তরঙ্গের ব্যতিচারের জন্য উপরের শর্তগুলি প্রযোজ্য। ব্যতিচারের সময় শক্তির সৃষ্টি অথবা বিনাশ ঘটে না, কিন্তু শক্তির পুনর্বণ্টন ঘটিয়া থাকে।

3.23. **শব্দের ব্যতিচার ও কুইঙ্কের পরীক্ষা** (Interference of sound and Quincke's experiment) **:** একই কম্পাঙ্ক ও বিস্তার যুক্ত দুইটি শব্দ তরঙ্গ মাধ্যমের কোন বিন্দুতে সমদশায় পৌছাইলে সেখানে জোরালো শব্দের সৃষ্টি হইবে। অপরপক্ষে, তরঙ্গ দুইটি বিপরীতদশায় পৌছাইলে ঐ বিন্দুতে কোন শব্দ শোনা যাইবে না। এই ধরনের ঘটনাকে **শব্দের ব্যতিচার** বলা হয়। কুইঙ্কের পরীক্ষা দ্বারা শব্দের ব্যতিচার দেখানো যাইতে পারে।

কুইঙ্কের যন্ত্রটিতে ABR এবং ACR দুইটি U-আকারের নল থাকে (চিত্র 3 ঝ)। তাছাড়া C নলটিকে প্রয়োজনমত বাহিরের দিকে টানা অথবা ভিতরের দিকে ঢুকানো যাইতে পারে। ইহার ফলে ACB-এর দৈর্ঘ্য বাড়িয়া অথবা কমিয়া যায়। খোলামুখ M-এর সম্মুখে কোন শব্দ করিলে সেই শব্দের এক অংশ ABR পথে এবং অপর অংশ ACR পথে R বিন্দুতে আসিয়া পৌছায়। পথ দুইটির দৈর্ঘ্য একই হইলে শব্দের

দুইটি অংশই একই দশায় R বিন্দুতে আসিয়া পৌছাইবে এবং জোর শব্দ শোনা যাইবে। ACR পথের দৈর্ঘ্য আস্তে আস্তে বাড়াইতে থাকিলে R বিন্দুতে শব্দের



চিত্র নং—3 ঝ

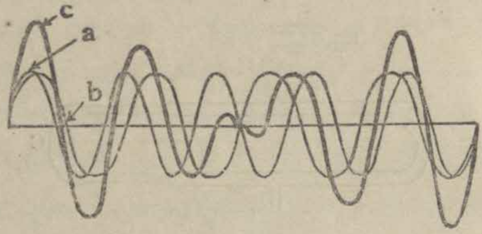
প্রাবল্য কমিতে থাকিবে এবং যে অবস্থায় ACR ও ABR পথের পথ-পার্থক্য $\lambda/2$-এর সমান হইবে সেই অবস্থায় R বিন্দুতে শব্দের প্রাবল্য সর্বনিম্ন হইবে। পথ-পার্থক্য $\lambda/2$ অথবা $\lambda/2$-এর অযুগ্ম গুণিতক হইলেও একই ঘটনা ঘটিবে। কারণ এই সময়ে শব্দের অংশ দুইটি বিপরীত দশায় R বিন্দুতে আসিয়া পৌছাইবে এবং পরস্পর পরস্পরকে প্রশমিত করিবে। কিন্তু পথ-পার্থক্য λ অথবা λ-এর গুণিতক হইলে খুব জোর শব্দ শোনা যাইবে কারণ সেই অবস্থায় শব্দের দুইটি অংশই R বিন্দুতে একই দশায় আসিয়া পৌছাইবে এবং গঠনমূলক ব্যতিচারের সৃষ্টি করিবে।

এই পরীক্ষায় স্বরশলাকা T হইতে নির্গত শব্দতরঙ্গ হইতে কৃত্রিম উপায়ে একই প্রকৃতির দুইটি শব্দতরঙ্গ সৃষ্টি করা হইয়াছে।

3.24. **স্বরকম্প** (Beats): দুইটি শব্দ তরঙ্গের কম্পাঙ্ক প্রায় সমান হইলে তাহাদের উপরিপাতের ফলে দেখা যাইবে যে শব্দের প্রাবল্য পর্যায়ক্রমে একবার বাড়িতেছে এবং একবার কমিতেছে। প্রায় সমান কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট দুইটি শব্দতরঙ্গের উপরিপাতের জন্য শব্দের প্রাবল্যের পর্যায়ক্রমে হ্রাসবৃদ্ধির ঘটনাকে **স্বরকম্প** বলা হয়। শব্দ প্রাবল্যের হ্রাস বৃদ্ধি একটি নির্দিষ্ট হারে ঘটিয়া থাকে এবং প্রতি সেকেণ্ডে যতবার জোর শব্দ অথবা ক্ষীণ শব্দ শোনা যায় তাহাকে **স্বরকম্পাঙ্ক** (Beat frequency) বলা হয়। প্রমাণ করা যায় যে উৎস দুইটির কম্পাঙ্কের পার্থক্য স্বরকম্পাঙ্কের সমান হইবে। সুতরাং তরঙ্গ দুইটির কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_1, n_2 হইলে, স্বরকম্পাঙ্ক$=n_1 \sim n_2$.

মনেকর, a এবং b লেখ দুইটি প্রায় সমান কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট তরঙ্গ দুইটির সময়-সরণ লেখ সূচিত করিতেছে (চিত্র 3 ঝ)। উপরিপাতের ফলে লব্ধগতির সময়-সরণ

লেখ C দ্বারা সূচিত হয়। স্পষ্টতঃই দেখা যাইতেছে যে লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে পর্য্যায়ক্রমে সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন হইতেছে, এই কারণেই পর্য্যায়ক্রমে শব্দের প্রাবল্যের হ্রাসবৃদ্ধি ঘটিয়া থাকে।



চিত্র—3 ঞ

একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে স্বরকম্পের উৎপত্তি দেখানো যাইতে পারে। দুইটি একই কম্পাঙ্কের সুরশলাকাকে আঘাত করিয়া আলাদা আলাদাভাবে অনুনাদী বাক্সের উপর রাখিলে একটানা একই ধরনের শব্দ শোনা যাইবে। শলাকা দুইটিকে আঘাত করিয়া একই সঙ্গে অনুনাদী বাক্সের উপর রাখিলে শব্দ জোরালো হইবে কিন্তু উহার প্রকৃতির কোন পরিবর্তন ঘটিবে না, এইবার যে কোন সুরশলাকার বাহুতে সামান্য পরিমাণ মোম লাগাইয়া দেওয়া হইল। ইহার ফলে উহার কম্পাঙ্ক কমিয়া যাইবে। এখন শলাকা দুইটিকে আঘাত করিয়া একই সঙ্গে অনুনাদী বাক্সের উপর রাখিলে আর একটানা শব্দ শোনা যাইবে না। পক্ষান্তরে শব্দ প্রাবল্যের পর্য্যায়ক্রমে হ্রাসবৃদ্ধি ঘটিতে থাকিবে। ইহা স্বরকম্পের জন্য ঘটিয়া থাকে। সুরশলাকার প্রাথমিক কম্পাঙ্ক 256 এবং মোম লাগানোর ফলে কম্পাঙ্ক 252 হইলে প্রতি সেকেণ্ডে 4টি করিয়া স্বরকম্প শোনা যাইবে।

স্বরকম্পাংক বেশী হইলে প্রাবল্যের হ্রাসবৃদ্ধি দ্রুতহারে সংঘটিত হয় এবং আমাদের কানে একটানা শব্দের রেশ থাকিয়া যায়। ইহার ফলে আমাদের কান আর পৃথক ভাবে স্বরকম্পের উপস্থিতি উপলব্ধি করিতে পারে না। স্বরকম্প উপলব্ধির সীমা ব্যক্তিবিশেষের উপর নির্ভরশীল। তবে সাধারণতঃ স্বরকম্পাংক 16-এর বেশী হইলে স্বরকম্পের উপলব্ধি অসম্ভব হইয়া উঠে।

3.25. **স্বরকম্পের গাণিতিক বিশ্লেষণ** (Mathematical treatment of beats): সমান বিস্তার এবং প্রায় সমান কম্পাংক বিশিষ্ট দুইটি সরল দোল গতির সমীকরণ নিম্নে দেওয়া হইল :

$y_1 = a \sin 2\pi n_1 t$ এবং $y_2 = a \sin 2\pi n_2 t$

[এখানে a = বিস্তার এবং $n_1 > n_2$]

তরঙ্গ দুইটির উপরিপাতের ফলে লব্ধ সরণ y হইলে

$$y=y_1+y_2=a(\sin 2\pi n_1t+\sin 2\pi n_2t)$$
$$=2a\sin 2\pi\left(\frac{n_1+n_2}{2}\right)t\,.\,\cos 2\pi\left(\frac{n_1-n_2}{2}\right)t$$

সুতরাং লব্ধ গতির বিস্তার $=2a\cos 2\pi\left(\frac{n_1-n_2}{2}\right)t$ এবং ইহার মান সময়ের উপরও নির্ভরশীল।

তরঙ্গের বিস্তার সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে, যখন

$$\cos 2\pi\left(\frac{n_1-n_2}{2}\right)t=\pm 1$$

বা, $2\pi\left(\frac{n_1-n_2}{2}\right)t=0, \pi, 2\pi,\cdots, s\pi$

[যেখানে $s=0, 1, 2,\cdots$]

তখন $t=0,\ \frac{1}{n_1-n_2},\ \frac{2}{n_1-n_2},\ \frac{s}{n_1-n_2}$

পরপর যে কোন দুইটি জোর শব্দের অন্তর্বতী ব্যবধান $=\frac{1}{n_1-n_2}$ সেকেণ্ড।

উপরের মুহূর্তগুলিতে বিস্তারের পরিমাণ $2a$ এবং খুব জোর শব্দ হইবে। কিন্তু তরঙ্গের বিস্তার সর্বাপেক্ষা কম হইবে, যখন

$$\cos 2\pi\left(\frac{n_1-n_2}{2}\right)t=0$$

বা, $2\pi\left(\frac{n_1-n_2}{2}\right)t=\frac{\pi}{2},\ \frac{3\pi}{2},\cdots,(2s+1)\frac{\pi}{2}$

তখন $t=\frac{1}{2(n_1-n_2)},\ \frac{3}{2(n_1-n_2)},\cdots,\ \frac{2s+1}{2(n_1-n_2)}$

এই সময় শব্দের বিস্তার শূন্য হইবে এবং কোন শব্দ শোনা যাইবে না। এই ক্ষেত্রেও $\frac{1}{n_1-n_2}$ সেকেণ্ড পর পর কোন শব্দ শোনা যাইবে না। সুতরাং স্বরকম্পাঙ্ক $=n_1-n_2$।

3.26. **স্বরকম্পের প্রয়োগ** (Application of beats) : (*a*) **অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয়** (Determination of an unknown frequency) : মনে কর, কোন স্বরশলাকার কম্পাংক নির্ণয় করিতে হইবে। প্রায় সমান কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট কিন্তু জানা কম্পাঙ্কের কোন স্বরশলাকার শব্দের সহিত তুলনা করিয়া স্বরকম্পাঙ্ক (m)

নির্ণয় করা হইল। অজানা কম্পাঙ্ক n_1 এবং জানা কম্পাঙ্ক n_2 হইলে স্বরকম্পের নীতি অনুসারে $n_1 = n_2 - m$ অথবা $n_2 + m$ হইবে। এইবার অজানা কম্পাঙ্কের শলাকাটিতে সামান্য মোম লাগাইয়া তাহার কম্পাঙ্ক সামান্য কমানো হইল এবং পুনরায় পরীক্ষাটি করা হইল, এইবার স্বরকম্পাঙ্ক বাড়িলে, $n_1 = n_2 - m$ এবং স্বর কম্পাঙ্ক কমিলে $n_1 = n_2 + m$ হইবে।

(*b*) **খনিতে দূষিত গ্যাসের অস্তিত্ব নির্ণয় ঃ** খনিতে দূষিত গ্যাস বেশী পরিমাণে থাকিলে দুর্ঘটনার সম্ভাবনা। স্বরকম্পের সাহায্যে খনির ভিতরে দূষিত গ্যাসের অস্তিত্ব নির্ণয় করা সম্ভব। আমরা জানি অর্গ্যান নল হইতে নিঃসৃত স্বরের কম্পাঙ্ক অন্তর্নিহিত গ্যাসের উপর নির্ভরশীল। একই ধরনের দুইটি অর্গ্যান নলের একটিতে বিশুদ্ধ বায়ু এবং অন্যটিতে দূষিত গ্যাস থাকিলে নিসৃত কম্পাঙ্ক বিভিন্ন হইবে এবং স্বরকম্পের সৃষ্টি করিবে। পরীক্ষাটি খনির ভিতরে করিলে খনির বায়ু দূষিত কিনা বোঝা যাইবে। স্বরকম্পের সংখ্যা হইতে খনির বায়ু কতটা দূষিত তাহার আন্দাজও মোটামুটিভাবে করা সম্ভব।

উদাহরণ ঃ

1. 2 মিটার দীর্ঘ তারের ওজন 4·79 গ্রাম। 25 কিলোগ্রাম ওজনকে টান হিসাবে ব্যবহার করিলে 30 সেমি. দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তারটির মূলস্বরের কম্পাঙ্ক কত হইবে?

[What will be the fundamental frequency of the note emitted by a wire of 30 cm. in length when stretched by a weight of 25 kgm. if 2 metres of the wire are found to weigh 4·79 gms. ?]

[C. U.]

উঃ। আমরা জানি মূলস্বরের কম্পাঙ্ক

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

এখানে $l = 30$ সেমি.

$T = 25 \times 1000 \times 981$ ডাইন

$m =$ একক দৈর্ঘ্যের ভর

$= \frac{4·79}{200} = 0·02395$ গ্রাম/সেমি.

$$\therefore \quad n = \frac{1}{2 \times 30}\sqrt{\frac{25 \times 1000 \times 981}{0·02395}} = 320$$

2. Find the frequency of the note emitted by a string 50 cms. long and stretched by a load of 10 kgms, if one metre length of the string weighs 2·45 gms. ($g=980$ cm./sec^2.) [B. U. 1963]

উঃ। এক্ষেত্রে $l=50$ সেমি.

$$T=10\times10^3\times980 \text{ ডাইন}$$

$$m=\frac{2{\cdot}45}{100}=0{\cdot}0245 \text{ গ্রাম/ সেমি.}$$

$$\therefore \text{ কম্পাঙ্ক } n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}=\frac{1}{2\times50}\sqrt{\frac{10\times10^3\times980}{0{\cdot}0245}}$$

$$=200.$$

3. নির্দিষ্ট টানে কোনো সনোমিটারের 45 সেমি. দীর্ঘ তারের কম্পাঙ্ক 258 হয়। টান 4 গুণ বাড়াইলে 54 সেমি. দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তারে কম্পাঙ্ক কত হইবে ?

[A sonometer wire when adjusted to a length of 45 cms. produces a note of frequency 258. What will be the frequency of the note emitted by a length of 54 cms. of the wire when the tension is increased in the ratio 1 : 4 ?] [C. U, 1964]

উঃ। প্রথম ক্ষেত্রে, $258=\frac{1}{2\times45}\sqrt{\frac{T}{m}}$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $n=\frac{1}{2\times54}\sqrt{\frac{4T}{m}}$

$$\therefore \frac{n}{258}=\frac{45}{54}\sqrt{\frac{4}{1}}=\frac{5}{3} \quad \text{বা,} \quad n=\frac{258\times5}{3}$$

$$=430$$

4 নির্দিষ্ট টানে নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট সনোমিটার তারের কম্পাঙ্ক 150 হয়। টান 16/9 গুণ বাড়াইলে এবং দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করিলে কম্পাঙ্ক কত হইবে ?

[A sonometer wire emits a note of frequency 150. What will be the frequency of the note emitted by the same string if the tension be increased in the ratio 9 : 16 and the length in the ratio 1 : 2 ?] [C. U. 1945]

উঃ। আমরা জানি, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$

প্রদত্ত সর্তানুসারে, $\frac{l_1}{l_2}=\frac{1}{2}$, $\frac{T_1}{T_2}=\frac{9}{16}$

এবং m অপরিবর্তিত আছে।

$$\therefore \frac{n_2}{n_1}=\frac{l_1}{l_2}\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{16}{9}}=\frac{2}{3}$$

$$\therefore n_2=\frac{2}{3}n_1=\frac{2}{3}\times 150=100$$

5. নির্দিষ্ট টানে 50 সেমি. দীর্ঘ তারের কম্পাঙ্ক কোন স্বরশলাকার কম্পাঙ্কের সহিত সমান। টান চারগুণ বাড়াইলে একই স্বরের জন্য তারের দৈর্ঘ্য কত হইবে ?

[A stretched wire 50 cms. long is in unsion with a tuning fork. If the tension is quadrupled, what length will be required for unison again ?] [C.U. 1949]

উঃ। আমরা জানি, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$

কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকে বলিয়া,

$$n=\frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T_1}{m}}=\frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T_2}{m}}$$

$$\therefore l_2=l_1\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}=50\sqrt{\frac{4}{1}}=100 \text{ সেমি.}$$

6. The string of a monochord vibrates 100 times a second. Its length is doubled and the tension altered until it makes 150 vibrations a second. What is the relation of the new tension to the original ?] [C. U.]

উঃ। আমরা জানি, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$

$\therefore$ প্রথম ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে পাই

$$100=\frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T_1}{m}}, \qquad 150=\frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T_2}{m}}$$

ভাগ করিয়া, $\frac{150}{100}=\frac{l_1}{l_2}\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$ $[\because l_2=2l_1]$

$$\therefore \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}=\frac{150}{100}\times 2=3 \qquad \text{বা,} \quad \frac{T_2}{T_1}=\frac{9}{1}$$

7. কোন পিতলের তারের দৈর্ঘ্য 100 সেমি., ব্যাস 1·8 মিমি. এবং টানের পরিমাণ 20 কিলোগ্রাম হইলে তারটির মূলস্বরের কম্পাঙ্ক বাহির কর ?

[A brass wire (sp. gr. 8·4), 100 cms. long and 1·8 mm. in diameter is stretched by a weight of 20 kgms. Calculate the number of vibrations which it makes per second when sounding its fundamental ($g=980$ cm./sec^2.)] [C. U.]

উঃ। আমরা জানি, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$

এখানে, $l=100$ সেমি., $T=20\times1000\times980$ ডাইন

$m=\frac{\pi d^2}{4}\times\rho=\frac{22}{7}\times\frac{(\cdot 18)^2}{7}\times 8\cdot 4=0\cdot 2138$ গ্রাম/সেমি.

$\therefore\ n=\frac{1}{2\times100}\sqrt{\frac{20\times1000\times980}{0\cdot 2138}}=47\cdot 9$

8. দুইটি খোলামুখ অর্গ্যান নলে শব্দ করা হইল। একটির কম্পাঙ্ক অন্যটির কম্পাঙ্ক অপেক্ষা 4 বেশী হইলে এবং ছোট নলটির দৈর্ঘ্য 30 ইঞ্চি হইলে অন্যটির দৈর্ঘ্য বাহির কর। (শব্দের গতিবেগ = 1120 ফু./সে.)।

[Two organ pipes, open at both ends are sounded together. The frequency of one of the pipes is greater by 4 than that of the other. If the length of the shorter pipe is 30 inches, find the length of the other. (Velocity of sound is 1120 ft./sec.)]

উঃ। এক্ষেত্রে $l=30$ ইঞ্চি $=2\cdot 5$ ফুট

ছোট দৈর্ঘ্যের নলটিতে কম্পাংক $n_1=\frac{V}{2l}=\frac{1120}{2\times2\cdot 5}=224$

লম্বা নলটিতে কম্পাংক কম হইবে।

$\therefore\ n_2=n_1-4=224-4=220$

লম্বা নলটির দৈর্ঘ্য l_2 হইলে $n_2=\frac{V}{2l_2}$

$\therefore\ l_2=\frac{V}{2n_2}=\frac{1120}{2\times220}=2\frac{6}{11}$ ফুট।

9. 83 সেমি. দীর্ঘ খোলামুখ অর্গ্যান নলের মূলস্বরের কম্পাংক বাহির কর। নলটির এক মুখ বন্ধ করিলে কম্পাংক কত হইবে ? (শব্দের গতিবেগ = 332 মিটার/সে.)। [Calculate the frequency of the fundamental

note emitted by an organ pipe 83 cm. long, and open at both the ends. What will be the frequency if one of the ends be closed? (Velocity of sound = 332 metres/sec).]

উঃ। খোলানলের কম্পাংক n হইলে

$$n=\frac{V}{2l}=\frac{332\times100}{2\times83}=200$$

নলটির একমুখ বন্ধ থাকিলে

$$\text{কম্পাংক}=\frac{V}{4l}=\frac{200}{2}=100.$$

10. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের পরীক্ষায় নিম্নলিখিত ফলগুলি পাওয়া গেল। বায়ুস্তম্ভের কম্পাঙ্ক (প্রথম অনুনাদে) = 33·6 সেমি. স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক = 256 সা/সে. বাতাসে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় কর। [In a resonance air column experiment the following observations are made :

Length of the vibrating air column (for first resonance)

= 33·6 cm.

Frequency of the tuning fork = 256 c.p s.

Calculate the velocity of sound in air from the data (End correction not necessary).] [B U. 1964]

উঃ। বাতাসে শব্দের গতিবেগ V হইলে

$V=4ln=4\times33{\cdot}6\times256$ সেমি /সেকেণ্ড

$=344{\cdot}1$ মিটার/সেকেণ্ড।

11. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের পরীক্ষায় পর পর দুইটি অনুনাদের অবস্থান যথাক্রমে 17·1 সেমি. ও 50·1 সেমি. হইলে এবং স্বরশলাকার কম্পাংক 512 হইলে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় কর। [In a resonance air column experiment the successive resonances were found to be at 17·1 cm. and 50·1 cm. If the frequency of the tuning fork were 512, calculate the velocity of sound.]

উঃ। আমরা জানি, $V=2n(l_2-l_1)$

$=2\times512\times(50{\cdot}1-17{\cdot}1)$

$=2\times512\times33$ সেমি./সেকেণ্ড

$=337{\cdot}9$ মিটার/সেকেণ্ড।

12. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের প্রক্রিয়ায় পরপর দুইটি অনুনাদী দৈর্ঘ্যের পার্থক্য 32·5 সেমি.। শব্দের গতিবেগ 332·8 মি./সে. হইলে মূল স্বরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।
[In a resonance air column method, the difference between two successive resonant lengths is 32·5 cms. Calculate the frequency of the note, if velocity of sound is 332·8 metres/sec.]

উঃ। আমরা জানি $n=\dfrac{v}{2(l_2-l_1)}=\dfrac{332\cdot80}{2\times32\cdot5}=512.$

প্রশ্নাবলী

1. তরঙ্গের উপরিপাত ও ইহার নীতি বলিতে কি বুঝায় ?
[What is meant by superposition of waves and its principle ?]

2. স্থাণু তরঙ্গ কিরূপে গঠিত হয় ? গাণিতিক পদ্ধতিতে স্থাণুতরঙ্গের গঠনের ব্যাখ্যা দাও। স্থাণু তরঙ্গের ধর্মাবলী লিখ।
[How are the stationary waves formed ? Explain the formation of stationary waves by analytical method. Mention the properties of stationary waves.]

3. চল-তরঙ্গ ও স্থাণুতরঙ্গ কাহাকে বলে ? চলতরঙ্গ ও স্থাণুতরঙ্গের পার্থক্য লিখ।
[What are progressive and stationary waves ? Write down the distinction between progressive and stationary waves.]

4. তারের তির্যক কম্পন বলিতে কি বুঝায় ? কম্পনের জন্য কি কি স্বর নির্গত হইবে ?
[What do you understand by the transverse vibration of a string ? What are the different modes of its vibration] ?

5. তারের তির্যক কম্পনের মূল কম্পাঙ্কের জন্য সমীকরণ লিখ এবং তাহা হইতে তির্যক কম্পনের নিয়মাবলী নির্ণয় কর।
[Give an expression for the fundamental frequency of transverse vibration of a string and hence deduce the laws of transverse vibration of a string.]

6. টান দেওয়া তারের তির্যক কম্পনের নিয়মাবলী লিখ এবং পরীক্ষার সাহায্যে তাহাদের সত্যতা প্রমাণ কর।
[State the laws of transverse vibration of a stretched string and describe experiments to verify them.] [C. U.]

7. টান দেওয়া তারের তির্যক কম্পনের সূত্রাবলী লিখ। সনোমিটারের সাহায্যে দুইটি স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক কিরূপে তুলনা করিবে তাহার বর্ণনা দাও।
[State the laws of transverse vibration of a stretched string. Describe how you will compare the frequencies of two tuning forks with a sonometer.] [N. B. U.]

8. টান দেওয়া তারের কম্পাঙ্ক কিসের উপর এবং কিভাবে নির্ভর করে ? পরীক্ষার সাহায্যে তোমার বক্তব্য প্রমাণিত কর।
[On what factors does the note emitted by a stretched string depend and how ? Show how your statement may be proved experimentally.]

9. সনোমিটারের সাহায্যে কোন স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক কিরূপে নির্ণয় করিবে তাহার বর্ণনা দাও।
[Describe how the frequency of a tuning fork can be determined with a sonometer.] [C. U.]

10. 1 মিটার দীর্ঘ তারের ওজন 4·9 গ্রাম। 5 কিলোগ্রাম ওজনকে টান হিসাবে ব্যবহার করিলে 25 সেমি. দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তারটির মূলস্বরের কম্পাঙ্ক বাহির কর।

[Find the fudanental frequency emitted by a string 25 cm. long stretched by a weight of 5 kgms., if a length of 1 metre of the wire weighs 4·9 gm.]
(Ans. 200) [C. U.]

11. সনোমিটারের দুইটি একই ধরনের তারের কম্পাঙ্ক সমান। একটি তারের দৈর্ঘ্য 36 ইঞ্চি এবং টানের পরিমাণ 100 পাউণ্ড! অপরটির দৈর্ঘ্য 45 ইঞ্চি হইলে টানের পরিমাণ বাহির কর।

[Two similar strings of a sonometer are tuned to unison. One is 36 inches long and stretched by 100 lbs. Find the stretching weight of the other one which is 45 inches long.]
(Ans. 156·3 lb.) [C. U.]

12. সনোমিটারের 1 মিটার তারের ওজন 2·4 গ্রাম এবং টানের পরিমাণ 20 কিলোগ্রাম। 27·94 সেমি. দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তারের স্বরের সহিত কোন স্বরশলাকার স্বরের মিল হইলে শলাকাটির কম্পাঙ্ক বাহির কর।

[Find the frequency of a tuning fork which is in unison with a length of 27·94 cm. of a sonometer wire stretched by a tension of 20 kgm. One metre of the sonometer wire weighs 2·4 gms.]
[Ans. 512]

13. বেহালার 24 সেমি. দীর্ঘ তার হইতে মূলস্বর নির্গত হইলে কত দৈর্ঘ্যের তার পরবর্তী অষ্টক স্বর উৎপন্ন করিবে?

[If the fundamental be emitted by a length of 24 cm. of a wire violin, what length of the same wire will emit the next octave ?]
(Ans. 12 cm.) [H. S.]

14. A string under tension vibrates with a frequency n. What will be the frequency, if other factors remaining the same, (i) the length is doubled ; (ii) the diameter is doubled ?]
(Ans. n/2) [H. S.]

15. A stretched string under a tension of 1 kgm. is in unison with a tuning fork of frequency 320. What alteration in he tension would marke it vibrate in unison with a fork of frequency 256 ?
(Ans. 0·36 kgm.) [H. S.]

16. বদ্ধ নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতির বর্ণনা দাও। উহাতে কি কি স্বর উৎপন্ন হইবে? প্রমাণ কর যে এই ধরনের নলে সমস্ত সমমেলগুলি সৃষ্টি হয় না।

[Describe the phenomenon of forced vibration of an air column inside a pipe closed at one end. What are the different,modes of vibration ? Show that all the harmonics cannot be excited in such a pipe.
[N. B. U.]

17. খোলানলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের জন্য কি কি স্বর নির্গত হইবে তাহা ব্যাখ্যা কর। প্রমাণ কর যে খোলানলে সমস্ত সমমেলগুলিই সৃষ্টি করা যাইতে পারে।

[Explain the production of different modes of vibration of the air column in a pipe open at both the ends. Show that all the harmonics can be generated in such a pipe.
[C. U.]

18. চিত্রের সাহায্যে খোলা অর্গান নলের বর্ণনা দাও এবং বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতি আলোচনা কর। খোলা মুখটি হঠাৎ বন্ধ করিয়া দিলে উপজাত স্বরের কম্পাঙ্ক ও প্রকৃতি কিরূপে পরিবর্তিত হইবে?

[Describe with a diagram an open organ pipe and explain its mode of excitation. What effect is produced on the pitch and character of the note if the open end is suddenly closed ?]
[C. U.]

19. (a) খোলা অর্গান নলে এবং (b) বন্ধ অর্গান নলে কিরূপে স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহা ব্যাখ্যা কর।

[Explain how stationary waves are produced (a) an open organ pipe (b) a closed organ pipe.
[C. U.]

20. প্রমাণ কর যে খোলা অর্গ্যান নল হইতে নির্গত মূল স্বরের কম্পাঙ্ক একই দৈর্ঘ্যের বন্ধ অর্গ্যান নল হইতে মূল স্বরের কম্পাঙ্কের তুলনায় দ্বিগুণ হইবে।

[Show that the pitch of the fundamental of an open organ pipe is twice that of a closed pipe of the same length.] [B. U.]

21. 41·5 সেমি. দীর্ঘ বন্ধ অর্গ্যান নল হইতে উপজাত মূলস্বরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। দুইটি মুখই খোলা থাকিলে কি হইবে?

[Calculate the frequency of the fundamental note emitted by a closed organ pipe 41·5 cm. long. What will be the result if the pipe be open at both the ends ?]

[Ans. 200, 400]

22. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয়ের সময় প্রথম এবং দ্বিতীয় অনুনাদটি যথাক্রমে 33·1 সেমি. এবং 98·1 সেমি. দূরত্বে সংঘটিত হইল। শব্দের গতিবেগ 33280 সেমি./সে. হইলে শলাকাটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

[To determine the frequency of a tuning fork by resonance air column method the first resonance is found to occur at a length of 33·1 cm, The next resonance occurs at 98·1 cm. If the velocity of sound be 33280 cm./sec., calculate the frequency of the fork.] [Ans. 256]

23. In a resonance air column method, the frequency of the tuning fork is 512 and the difference between two successive resonant lengths is 32·5 cm. Calculate the velocity of sound in air, [Ans. 33280 সেমি./সে.]

24. একটি দুইমুখ খোলা নল আছে। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে উপজাত স্বরের কম্পাঙ্কের কি পরিবর্তন ঘটিবে তাহা ব্যাখ্যা কর:

নলের ভিতরে (a) বায়ুর পরিবর্তে কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাস রাখিলে; (b) গরম বায়ু ঢুকাইলে; (c) বায়ুর চাপ বাড়াইলে এবং (d) জলীয় বাষ্প ঢুকাইলে।

[Explain what will happen in the value of the excited frequency in a pipe open at both the ends in the following cases :—(a) Carbon dioxide is introduced in place of air ; (b) Hot air is introduced ; (c) air pressure is increased and (d) Water vapour is introduced.

[Ans. কম্পাঙ্কের মান (a) কমিবে; (b) বাড়িবে; (c) অপরিবর্তিত থাকিবে এবং (d) বাড়িবে।]

25. তরঙ্গে ব্যতিচার বলিতে কি বুঝায়? ব্যতিচার সৃষ্টির শর্তগুলি লিখ।

[What is meant by interference of waves ? Write down the conditions of interference.]

26. শব্দের ব্যতিচার কাহাকে বলে? পরীক্ষার সাহায্যে শব্দের ব্যতিচার দেখাও।

[What is interference of sound ? Exhibit interference of sound by an experiment.]

27. স্বরকম্প কাহাকে বলে এবং ইহার কি ভাবে উৎপত্তি হয় তাহা ব্যাখ্যা কর। গাণিতিক পদ্ধতিতে স্বরকম্পের সৃষ্টি বুঝাইয়া দাও।

[Explain what are beats and how they are formed. Establish by analytical method the formation of beats.]

28. স্বরকম্পের প্রয়োগ লিখ।

[Mention the applications of beats.]

চতুর্থ অধ্যায়

শব্দ তরঙ্গের প্রকৃতি ও বৈশিষ্ট্য

(Nature and characteristics of sound waves)

4.1 শব্দতরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ (Sound waves are elastic waves) :
শব্দের উৎপত্তির জন্য কোন বস্তুর কম্পন এবং শব্দ সঞ্চালনের জন্য জড় মাধ্যমের প্রয়োজন। তাছাড়া শব্দ সঞ্চালনের সময় মাধ্যম সরিয়া যায় না এবং মাধ্যমে পর্য্যায়-ক্রমে ঘনীভবন ও তনূভবনের ফলে শব্দ সঞ্চালিত হয়। নিম্নলিখিত কারণের জন্য বলা যায় যে শব্দ এক প্রকারের তরঙ্গ এবং তাহা স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ :

(i) বস্তুর কম্পনের ফলে তরঙ্গের উৎপত্তি ঘটে। শব্দের উৎপত্তির জন্যও বস্তুর কম্পন দরকার।

(ii) বিভিন্ন মাধ্যমে তরঙ্গের নির্দিষ্ট গতিবেগ থাকে। শব্দও বিভিন্ন মাধ্যমে নির্দিষ্ট গতিবেগে সঞ্চালিত হয়।

(iii) তরঙ্গ সঞ্চালনের মত শব্দ সঞ্চালনের সময়ও মাধ্যম সরিয়া যায় না।

(iv) সাধারণ তরঙ্গের ন্যায় শব্দের ক্ষেত্রেও প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, ইত্যাদি ঘটিয়া থাকে।

(v) উপযুক্তভাবে শব্দের আলোক চিত্র গ্রহণ করিয়া দেখা যায় যে শব্দ তরঙ্গ-ধর্মী।

উপরের ঘটনাগুলি প্রমাণ করে যে শব্দ একপ্রকারের তরঙ্গ।

(vi) কোন মাধ্যমে পর্যায়ক্রমে ঘনীভবন ও তনূভবনের ফলে শব্দ সঞ্চালিত হয় এবং শব্দের গতিবেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক ও ঘনত্বের উপর নির্ভরশীল। ইহা প্রমাণ করে যে শব্দতরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ।

4.2. শব্দের গতিবেগ (Velocity of Sound) :
সর্বসত্ত্ব মাধ্যমে শব্দ নির্দিষ্ট গতিবেগে সঞ্চালিত হয়। ইহা নিম্নলিখিত ঘটনাবলীর সাহায্যে বুঝানো যাইতে পারে :

কোন কারণে আকাশে দুইখণ্ড মেঘের মধ্যে তড়িৎ মোক্ষণ ঘটিলে একই সময়ে আলোক ও শব্দের উৎপত্তি হয়। কিন্তু প্রথমে আমরা বিদ্যুতের ঝলক দেখি এবং তাহার কিছুক্ষণ পরে শব্দ শুনিতে পাই। ইহার কারণ বায়ু মাধ্যমে আলোকের গতি প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় একলক্ষ ছিয়াশী হাজার মাইল এবং শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে

প্রায় এগার শ' কুড়ি ফুট মাত্র। সেইজন্য পৃথিবী-পৃষ্ঠে বিদ্যুতের ঝলক প্রায় সংগে সংগে আসিয়া পৌঁছায়, কিন্তু শব্দ আসিতে কিছু পরিমাণ সময় লাগে। এই কারণে বিদ্যুতের ঝলক দেখিবার পর বেশ কিছুক্ষণ পরে বিদ্যুতের গর্জন শুনা যায়। অনুরূপ-ভাবে দূর হইতে বাষ্পীয় ইঞ্জিনের বাঁশীর আওয়াজ শুনিলে প্রথমে উহার ধোঁয়া দেখা যাইবে এবং কিছুক্ষণ পরে শব্দ শুনা যাইবে। ইঞ্জিন হইতে আরও বেশী দূরে থাকিলে সময়ের অন্তর আরও বাড়িয়া যাইবে। এই সমস্ত ঘটনা হইতে বোঝা যায় যে শব্দকে কোন নির্দিষ্ট দূরত্ব অতিক্রম করিতে হইলে নির্দিষ্ট পরিমাণ সময়ের প্রয়োজন হয়। কোন মাধ্যমের ভিতর দিয়া এক সেকেণ্ড সময়ে শব্দ যে পরিমাণ দূরত্ব অতিক্রম করিবে তাহাকে ঐ মাধ্যমে **শব্দের গতিবেগ** বলা হয়। বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ বিভিন্ন উপায়ে মাপা সম্ভব। কিন্তু এই অধ্যায়ে আমরা কেবল মাত্র মুক্ত বায়ুতে পরীক্ষার বিষয় আলোচনা করিব।

4 3. মুক্ত বায়ুতে পরীক্ষা (Open air experiment) ঃ

ফরাসী দেশের কয়েকজন বৈজ্ঞানিক সর্বপ্রথম এই পরীক্ষার সাহায্যে বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করেন। বায়ুমাধ্যমে t সময়ের অবকাশে কোন শব্দ x দূরত্ব গমন করিলে ঐ মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ $V = x/t$ হইবে।

মুক্ত বায়ুতে পরীক্ষার সাহায্যে শব্দের গতিবেগ নির্ণয়ের জন্য দুইজন ব্যক্তি দুইটি পাহাড়ের উপর থাকেন। উহাদের মধ্যে একজনের কাছে একটি কামান এবং অপর জনের কাছে একটি স্টপঘড়ি রাখা হয়। প্রথম ব্যক্তি কামান দাগিলে ধোঁয়া দেখার সংগে সংগে দ্বিতীয় ব্যক্তি তাঁহার স্টপঘড়িটি চালু করিয়া দেন এবং শব্দ শোনার সংগে সংগেই উহা বন্ধ করিয়া দেন। স্টপঘড়িটিতে সময়ের পরিমাণ 't' সূচিত হইলে ঐ সময়ের ব্যবধানে কামানের শব্দ প্রথম ব্যক্তির নিকট হইতে দ্বিতীয় ব্যক্তির নিকটে পৌঁছিয়াছে। যদি পাহাড় দুইটির দূরত্ব x হয় তবে বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ $V = x/t$ হইবে। ভালো ফল পাইবার জন্য পরীক্ষাটিকে কয়েকবার করিয়া গড় নির্ণয় করা উচিত। বায়ুপ্রবাহের প্রভাব (effect of wind) এবং ব্যক্তিগত ত্রুটি (personal error)—এই দুইটি কারণের জন্য উপরোক্ত পদ্ধতিতে নির্ভুলভাবে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করা সম্ভব হয় না।

(i) বায়ু প্রবাহের প্রভাব (Effect of wind) ঃ

আমরা জানি নদীর স্রোতের অভিমুখে নৌকা জোরে চলে ; কিন্তু স্রোতের বিপরীত দিকে উহা তত জোরে চলিতে পারে না। সেইরূপ বায়ু প্রবাহের অভিমুখে শব্দের গতিবেগ বাড়িয়া যায়। কিন্তু বায়ু প্রবাহের বিপরীত মুখে শব্দের গতিবেগ

কমিয়া যাইবে। **বিপরীত পর্যবেক্ষণ** (Reciprocal observation)—পদ্ধতি দ্বারা এই ত্রুটি সংশোধন করা সম্ভবপর। এই পদ্ধতিতে প্রথম ব্যক্তি কামান দাগিলে দ্বিতীয় ব্যক্তি স্টপঘড়ির সাহায্যে সময়ের হিসাব রাখেন। এইবার দ্বিতীয় ব্যক্তি কামান দাগেন এবং প্রথম ব্যক্তিটি অনুরূপভাবে সময়ের হিসাব রাখেন। বায়ুমাধ্যমে শব্দের প্রকৃত গতিবেগ $=V$; দ্বিতীয় পর্যবেক্ষকের অভিমুখে বাতাসের গতিবেগ $=v$ এবং পর্যবেক্ষকদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব $=x$ ধরা হইল।

প্রথম ব্যক্তি কামান দাগিলে দ্বিতীয় ব্যক্তি সময়ের হিসাব রাখেন। কামানের ধোঁয়া দেখার এবং গর্জন শোনার মধ্যে সময়ের ব্যবধান t_1 ধরা হইল। যেহেতু এই ক্ষেত্রে বাতাস v গতিবেগে প্রথম ব্যক্তি হইতে দ্বিতীয় ব্যক্তির অভিমুখে প্রবাহিত হইতেছে, সুতরাং শব্দের মোট গতিবেগ $(V+v)$ হইবে।

$$\therefore \quad V+v=\frac{x}{t_1} \cdots\cdots\cdots(1)$$

বিপরীত পর্যবেক্ষণে দ্বিতীয় ব্যক্তি কামান দাগেন এবং প্রথম ব্যক্তি সময়ের হিসাব রাখেন। এই ক্ষেত্রে সময়ের ব্যবধান t_2 ধরা হইল। যেহেতু বায়ুপ্রবাহের বিপরীত দিকে শব্দ সঞ্চালিত হইতেছে, সেইহেতু শব্দের মোট গতিবেগ $V-v$ হইবে।

$$\therefore \quad V-v=\frac{x}{t_2} \cdots\cdots\cdots(2)$$

উপরোক্ত সমীকরণ দুইটিকে যোগ করিলে আমরা পাই,

$$V=\frac{1}{2}\left(\frac{x}{t_1}+\frac{x}{t_2}\right)=\frac{x}{2}\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right),$$

x, t_1 এবং t_2-এর মান জানিয়া শব্দের প্রকৃত গতিবেগ (V) নির্ণয় করা সম্ভব।

ব্যক্তিগত ত্রুটি (Personal error)। নির্ভুল-ফল পাইতে হইলে শব্দ গ্রহণ কেন্দ্রের পর্যবেক্ষককে কামানের ধোঁয়া দেখার সংগে সংগে ঘড়ি চালাইতে হইবে এবং শব্দ পৌছানমাত্র ঘড়ি বন্ধ করিতে হইবে, কিন্তু দেখা বা শোনার সংগে সঙ্গেই হাত স্টপঘড়িটিতে চালাইতে বা থামাইতে পারে না। সেইজন্য পরীক্ষার মধ্যে কিছু পরিমাণ ত্রুটি থাকিয়া যায়। এই ত্রুটি সব মানুষের ক্ষেত্রেই বর্তমান, তবে কাহারও ক্ষেত্রে বেশী বা কাহারওবা কম। এই ত্রুটিকে ব্যক্তিগত ত্রুটি বলা হয়। বৈদ্যুতিক উপায়ে স্বয়ং-ক্রিয় ভাবে সময়ের ব্যবধান নির্ণয়ের ব্যবস্থা করিয়া এই ত্রুটি দূর করা সম্ভব।

4.4. পরীক্ষার ফলাফল (Results of the experiment) :

বিভিন্ন পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে শুষ্ক ও স্থির বাতাসে 0°C তাপমাত্রায় শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 332 মিটার।

পরীক্ষার সাহায্যে নিম্নলিখিত ফলগুলি পরিলক্ষিত হইয়াছে :

(ii) বায়ু চাপের তারতম্য ঘটিলে শব্দের গতিবেগের কোন তারতম্য ঘটে না। (ii) বায়ু-মাধ্যমে তাপমাত্রা বাড়িলে শব্দের গতিবেগ বাড়িয়া যায়। তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হইলে শব্দের গতিবেগ প্রায় 61 সেমি. বাড়িয়া যায়। (iii) বাতাসের আর্দ্রতা বৃদ্ধি পাইলে শব্দের গতিবেগও বাড়িয়া যায়। (iii) তীব্র এবং প্রবল শব্দের গতিবেগ মৃদু শব্দের গতিবেগ অপেক্ষা বেশী।

4.5. **শব্দের গতিবেগ সম্পর্কিত নিউটনের সূত্র** (Newton's formula for Velocity of Sound) : কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের গতিবেগ V হইলে নিউটন তত্ত্বমূলকভাবে নিম্নলিখিত সূত্রটি বাহির করেন।

$C=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ এখানে $E=$ মাধ্যমের আয়তন গুণাঙ্ক এবং $\rho=$ মাধ্যমের ঘনত্ব।

গ্যাসীয় মাধ্যমে, $E=\frac{\text{একক ক্ষেত্রফলে চাপের পরিবর্তন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}$

মনে কর, নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট কোন গাসের চাপ p এবং আয়তন v; তাছাড়া গ্যাসের চাপ p পরিমাণ বাড়াইলে v পরিমাণ আয়তন কমিয়া যায়। সুতরাং আয়তন বিকৃতি, v/V

$$\therefore \quad E=\frac{\text{পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}=\frac{p}{v/V}=\frac{pV}{v}$$

নিউটনের মতে গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দতরঙ্গ সঞ্চালিত হইলে উহার তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন হয় না। ফলে গ্যাসের আয়তন ও চাপের পরিবর্তন বয়েলের সূত্র মানিয়া চলিবে (সমোষ্ণ প্রক্রিয়া)।

$$\therefore \quad PV=(P+p)(V-v)=PV+pV-vP-pv$$

কিন্তু p ও v-এর মান কম বলিয়া উহাদের গুণফল (pv) খুব নগণ্য হইবে।

$$\therefore \quad PV=PV+pV-vP \text{ বা, } pV=vP$$

$$\text{বা, } P=\frac{pV}{v}=E$$

সুতরাং গ্যাসের চাপ P হইলে নিউটনের এই মত অনুসারে $E=P$ হইবে। সুতরাং গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ হইবে, $C=\sqrt{\frac{P}{\rho}}$

উপরোক্ত সূত্র সাহায্যে এইবার আমরা স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রা বিশিষ্ট বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করিব। এই অবস্থায়,

$P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 981$ ডাইন/ব. সেমি.

এবং $\rho = 0{\cdot}001293$ গ্র্যাম/ঘন সেমি.

$$\therefore \quad C = \sqrt{\frac{P}{\rho}} = \sqrt{\frac{76 \times 13{\cdot}6 \times 981}{0{\cdot}001293}}$$

$= 280$ মিটার/সেকেণ্ড (প্রায়)

কিন্তু পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে উপরোক্ত অবস্থায় বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে 332 মিটার। সুতরাং নিউটনের সূত্র ভুল প্রমাণিত হইল।

4.6. ল্যাপলাসের সংশোধন (Laplace's correction) :

শব্দের গতিবেগ সম্পর্কীয় নিউটনের সূত্রের ত্রুটি ল্যাপলাস বাহির করেন। নিউটন ধরিয়া লইয়াছিলেন যে গ্যাসমাধ্যমে শব্দ সঞ্চালিত হইলে উহার তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন ঘটে না। ল্যাপলাস এই বিষয়ে সন্দেহ প্রকাশ করেন। তিনি বলেন যে, শব্দতরঙ্গের সঞ্চালনের ফলে গ্যাসমাধ্যমে ঘনীভবন ও তনূভবন এত তাড়াতাড়ি ঘটিয়া থাকে যে বিভিন্ন স্তরের মধ্যে তাপমাত্রার পরিবর্তন দেখা যাইবে। তাছাড়া গ্যাসমাধ্যমে তাপ পরিবাহীতাঙ্ক কম বলিয়া বিভিন্ন স্তরের ভিতর তাপের আদান প্রদানও তাড়াতাড়ি সম্ভব হইয়া উঠে না।

এই ধরনের প্রক্রিয়াকে রুদ্ধতাপ (adiabatic) প্রক্রিয়া বলা হয় এবং সেক্ষেত্রে $PV^{\gamma} =$ ধ্রুবক হইয়া থাকে যেখানে

$$\gamma = \frac{\text{স্থিরচাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}{\text{স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}$$

$$\therefore \quad PV^{\gamma} = (P+p)(V-v)^{\gamma} = (P+p)V^{\gamma}\left(1-\frac{V}{v}\right)^{\gamma}$$

$= (P+p)V^{\gamma}\left(1-\frac{\gamma v}{V}\right)$ $\left[\frac{v}{V}\right.$ খুব ক্ষুদ্র বলিয়া উচ্চতর ঘাতগুলিকে উপেক্ষা করা হইল]

বা, $P = (P+p)\left(1-\frac{\gamma v}{V}\right)$

বা, $O = p - \frac{P\gamma v}{V}$ [pvকে উপেক্ষা করিয়া]

বা, $\gamma P = \frac{pV}{v} = E$ $\quad \therefore \quad C = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

যে সমস্ত গ্যাসের অণুগুলিতে দুইটি করিয়া পরমাণু থাকে তাহাদের ক্ষেত্রে γ-এর মান 1·41 হইবে। সুতরাং স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ,

$$C=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}=\sqrt{\frac{1\cdot4\times76\times13\cdot6\times981}{0\cdot001293}}$$

$$=332 \text{ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে (প্রায়)।}$$

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, ল্যাপলাসের সূত্রের সহিত পরীক্ষালব্ধ ফলের সামঞ্জস্য রহিয়াছে।

4.7. গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগের উপর বিভিন্ন রাশির প্রভাব (Effect of different factors on the velocity of sound in a gas) :

গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগের উপর উহার ঘনত্ব, চাপ, তাপমাত্রা ও আর্দ্রতার প্রভাবের বিষয় আলোচিত হইল :

(i) **ঘনত্বের প্রভাব** (Effect of density) :

ঘনত্ব বাড়িলে গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ কমিয়া যায়। ρ_1 ও ρ_2 ঘনত্ব বিশিষ্ট দুইটি গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রা একই থাকিলে এবং তাহাদের ভিতর দিয়া শব্দের গতিবেগ যথাক্রমে V_1 ও V_2 হইলে,

$$\frac{V_1}{V_2}=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_1}}\div\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_2}}=\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

সুতরাং যে কোন গ্যাস মাধ্যমে, শব্দের গতিবেগ উহার ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক। উদাহরণস্বরূপ, অক্সিজেনের ঘনত্ব হাইড্রোজেনের ঘনত্বের 16 গুণ। সেইজন্য হাইড্রোজেনে শব্দের গতিবেগ অক্সিজেনে শব্দের গতিবেগের 4 গুণ হইবে।

(ii) **চাপের প্রভাব** (Effect of pressure) :

গ্যাসের চাপ পরিবর্তিত হইলেও ঐ মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ অপরিবর্তিত থাকে। ধর, গ্যাসের চাপ P_1 হইতে P_2-তে এবং উহার ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_1 হইতে ρ_2-তে পরিবর্তিত হইল। বয়েলের সূত্রানুসারে, আমরা পাই, $\frac{P_1}{\rho_1}=\frac{P_2}{\rho_2}$ $[\because P\propto\rho]$

$\therefore$ শব্দের গতিবেগ V হইলে,

$$V=\sqrt{\frac{\gamma P_1}{\rho_1}}=\sqrt{\frac{\gamma P_2}{\rho_2}}$$

সুতরাং চাপের পরিবর্তন ঘটিলেও শব্দের গতিবেগ পরিবর্তিত হয় না।

(iii) **তাপমাত্রার প্রভাব** (Effect of Temperature) :

গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি প্রাপ্ত হইলে ঐ মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ বাড়িয়া যাইবে। $0^\circ C$ এবং $t^\circ C$-এ শব্দের গতিবেগ যথাক্রমে V_o এবং V_t হইলে,

$$V_o=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_o}} \text{ এবং } V_t=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_t}}.$$

এখানে ρ_o ও ρ_t যথাক্রমে $0^\circ C$ এবং $t^\circ C$-এ মাধ্যমের ঘনত্ব সূচিত করিতেছে।

$$\therefore \frac{V_t}{V_o}=\sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_t}}$$

গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক α হইলে, চার্লসের সূত্রানুসারে,

$$\rho_o=\rho_t\,(1+\alpha t)$$

$$\therefore \frac{V_t}{V_o}=\sqrt{1+\alpha t}=\left(1+\frac{1}{2}\alpha t\right) \text{ প্রায়।}$$

$$=1+\frac{1}{2}\cdot\frac{t}{273} \qquad \left(\because \alpha=\frac{1}{273}\right)$$

$$=1+\cdot00183\,t$$

$$\therefore V_t=V_o(1+\cdot00183\,t).$$

$0^\circ C$-এ বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে 33200 সেমি. ধরিয়া লইলে,

$$V_t=33200\,(1+\cdot00183\,t)=33200+61\,t.$$

সুতরাং, বাতাসের তাপমাত্রা $1^\circ C$ বাড়িলে শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে 61 সেমি. বাড়িয়া যাইবে। তাপমাত্রা কমিলে বিপরীত ফল দেখা যাইবে।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বায়ুতে $V_o=1120$ ফুট/সেকেণ্ড।

সেক্ষেত্রে $V_t=1120\,(1+\cdot00183\,t)$

$$=1120+2t$$

অর্থাৎ $1^\circ C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে দুই ফুট যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস প্রাপ্ত হইবে।

(iv) **আর্দ্রতার প্রভাব** (Effect of humidity) :

তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন না ঘটিয়া কোন গ্যাসের আর্দ্রতা বৃদ্ধি পাইলে ঐ মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ বাড়িয়া যাইবে। নির্দিষ্ট চাপে ও তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব শুষ্ক বায়ুর ঘনত্বের প্রায় 5/8 ভাগ। সুতরাং বায়ুমাধ্যমে জলীয় বাষ্প বর্তমান থাকিলে উহার ঘনত্ব কমিয়া যাইবে। ইহার ফলে শব্দের গতিবেগও বাড়িয়া যাইবে।

4.8. কঠিন ও তরল মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ (Velocity of sound in solids and liquids) :

গ্যাস ও বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ অপেক্ষা কঠিন ও তরল মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ অনেক বেশী। উদাহরণস্বরূপ, লোহার মধ্যে শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 5300 মিটার। সেক্ষেত্রে বায়ুতে শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে মাত্র 332 মিটার।

বায়ট্ (Biot) সর্বপ্রথম লোহার মধ্যে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করেন। কতকগুলি ফাঁপা লোহার পাইপ জোড়া দিয়া তিনি প্রায় 1000 মিটার লম্বা একটি ফাঁপা নল প্রস্তুত করেন। নলটির একমুখে কান রাখিয়া অপর মুখে শব্দ করাইলে দুইটি শব্দ শোনা যাইবে। প্রথম যে শব্দটি শোনা যাইবে, তাহা লোহার মাধ্যমে সঞ্চালিত হইয়াছে, এবং দ্বিতীয় শব্দটি বায়ু মাধ্যম দিয়া আসিয়াছে। সময়ের পার্থক্য ও দূরত্ব হইতে হিসাব করিয়া বায়ট্ লক্ষ্য করেন যে লোহার ভিতর শব্দের গতিবেগ বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ অপেক্ষা প্রায় নয় গুণ বেশী।

Colladon ও Strum বৈজ্ঞানিকদ্বয় সর্বপ্রথম 1827 খৃষ্টাব্দে জলে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করেন। তাঁহারা পরীক্ষা করিয়া দেখেন যে 8·1°C তাপমাত্রায় জলে শব্দের গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 1436 মিটার।

কঠিন পদার্থে শব্দের গতিবেগ উহার ইয়ং গুণাংক ও ঘনত্বের উপর নির্ভর করে। কিন্তু তরলের ক্ষেত্রে শব্দের গতিবেগ উহার আয়তন গুণাংক ও ঘনত্বের উপর নির্ভরশীল।

4.9. শব্দোত্তর বেগ (Supersonic Speed) :

বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ ঘণ্টায় প্রায় 700 মাইল। কোন বস্তুর গতিবেগ ঘণ্টায় 700 মাইলের বেশী হইলে ঐ বেগকে শব্দোত্তর গতিবেগ বলা হয়। দ্বিতীয় বিশ্ব মহাযুদ্ধে জার্মানরা শব্দোত্তর গতিবেগ সম্পন্ন *V*-2 রকেট ব্যবহার করেন। রকেটের গতিবেগ শব্দের গতিবেগ অপেক্ষা বেশী হওয়ায় শত্রুপক্ষের কানে শব্দ পৌছিবার আগেই রকেটটি লক্ষ্যস্থানে পৌছিতে পারিত এবং বিনা বাধায় আঘাত হানিতে সমর্থ হইত।

বর্তমান যুগে শব্দোত্তর গতিবেগসম্পন্ন বহু জেট বিমান আবিষ্কৃত হইয়াছে। এই সমস্ত বিমানগুলি বিশেষ ধরনের ধাতু দিয়া তৈয়ারী, কারণ ইহাদিগকে শব্দ তরঙ্গের ঘনীভবন ও তনূভবন স্তরগুলি ভেদ করিয়া অগ্রসর হইতে হয়। কোন বস্তুর গতিবেগ বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগের সমান হইলে ঐ গতিবেগকে Mach-1 বলা হয়। সুতরাং Mach-3 বলিতে উক্ত বস্তুটির গতিবেগ বায়ুতে শব্দের গতিবেগ অপেক্ষা 3 গুণ

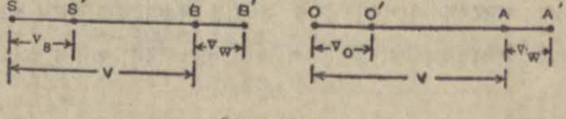
বেশী বুঝাইবে। বিজ্ঞানের যেরূপ অগ্রগতি হইতেছে তাহাতে অচিরেই Mach-20 বিমান আবিষ্কৃত হইতে পারে।

4.10. ডপলার ক্রিয়া (Doppler effect) : শব্দের উৎস এবং শ্রোতার ভিতর আপেক্ষিকগতি বিদ্যমান থাকিলে শ্রোতা যে শব্দ শুনিতে পায় তাহার কম্পাঙ্ক উৎসের যথার্থ কম্পাঙ্ক হইতে ভিন্ন হইয়া থাকে। শ্রোতা ও উৎসের পারস্পরিক দূরত্ব যথাক্রমে কমিতে বা বাড়িতে থাকিলে শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্ক আপাতভাবে বাড়িয়া অথবা কমিয়া যাইবে। **শ্রোতা ও উৎসের ভিতর আপেক্ষিক গতির জন্য শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্কের আপাত পরিবর্তনকে ডপলার ক্রিয়া বলা হয়।** শব্দের তীক্ষ্ণতা কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল বলিয়া ডপলার ক্রিয়ার জন্য তীক্ষ্ণতারও পরিবর্তন ঘটিবে। মনে রাখিতে হইবে যে ডপলার ক্রিয়ার জন্য কম্পাঙ্কের তথা তীক্ষ্ণতার পরিবর্তন আপাতভাবে ঘটিয়া থাকে এবং ইহা কোন স্থায়ী পরিবর্তন নয়। উপরের ক্ষেত্রে মাধ্যমের গতির উপরেও ডপলার ক্রিয়া নির্ভর করে।

রেল লাইনের পাশে দাঁড়াইয়া চলন্ত ট্রেনের হুইসিল শুনিলে ডপলার ক্রিয়া অনুভব করা যায়। ট্রেনটি যখন হুইসিল বাজাইতে বাজাইতে শ্রোতার দিকে আগাইয়া আসে তখন শ্রোতার মনে হয় শব্দের তীক্ষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতেছে। ট্রেনটি যখন শ্রোতার নিকট হইতে দূরে চলিয়া যায় তখন তীক্ষ্ণতার আপাত হ্রাস ঘটিতেছে বলিয়া মনে হইবে।

ডপলার তত্ত্ব আলোকের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য এবং প্রকৃতপক্ষে আলোকের ক্ষেত্রেই এই তত্ত্ব প্রথম প্রতিষ্ঠা লাভ করে। কোন নক্ষত্র পৃথিবী হইতে দূরে যাইতে থাকিলে আগত আলোকরশ্মির কম্পাঙ্ক কমিয়া যাইবে। পৃথিবীর অভিমুখে নক্ষত্রটি আসিতে থাকিলে কম্পাঙ্ক বাড়িয়া যাইবে। কম্পাঙ্কের আপাত হ্রাস-বৃদ্ধি এবং তাহার পরিমাণ মাপিয়া নক্ষত্রের গতির অভিমুখ এবং পরিমাণ নির্ণয় করা সম্ভব।

4.11. ডপলার তত্ত্বের গাণিতিক ব্যাখ্যা (Mathematical theory of Doppler effect) : মনে কর S এবং O যথাক্রমে শব্দের উৎস এবং শ্রোতার



চিত্র নং—4 ক

অবস্থান সূচিত করিতেছে (চিত্র 4ক)। তাহারা যথাক্রমে V_s এবং V_o গতিবেগে একই অভিমুখে (বাঁ হইতে ডানদিকে) যাইতেছে এবং S' ও O' এমনভাবে আঁকা হইল যাহাতে $SS'=V_s$ এবং $OO'=V_o$ হইবে। তাছাড়া, $SB=OA=V$ = স্থির মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ। আবার B' এবং A' বিন্দু এমনভাবে লওয়া হইল

যাহাতে $BB' = AA' = V_m' =$ বাতাসের গতিবেগ। উৎস হইবে নিঃসৃত শব্দের কম্পাঙ্ক n এবং তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ হইলে, $V = n\lambda$ হইবে। উৎস হইতে নিঃসৃত শব্দ তরঙ্গ শ্রোতার দিকে ধাবমান এবং বাতাসের কোন গতিবেগ না থাকিলে 1 সেকেণ্ড সময়ে শব্দতরঙ্গ B বিন্দুতে আসিয়া পৌছাইবে এবং $SB = V$ হইবে। একই অভিমুখে V_{ε} গতিবেগে বাতাস প্রবাহিত হইলে 1 সেকেণ্ড সময়ে শব্দতরঙ্গ B'-এ আসিয়া পৌছাইবে এবং $BB' = V_w$ হ বে। কিন্তু এই সময়ের মধ্যে উৎসটি S' বিন্দুতে আসিয়া পৌছাইবে এবং $SS' = V_s$ হইবে। উৎসটি হইতে 1 সেকেণ্ড সময়ে n সংখ্যক তরঙ্গ নিঃসৃত হয় এবং সেগুলি $S'B'$-এর মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকিবে।

$S'B' = S'B + BB' = SB - SS' + BB' = V - V_s + V_w$ এই অবস্থায় তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ' হইলে,

$$\lambda' = \frac{S'B'}{n} = \frac{V - V_s - V_w}{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad (a)$$

পুনরায় O অবস্থানে শ্রোতা যে শব্দ শুনিবে, 1 সেকেণ্ড পরে সেই শব্দ A' বিন্দুতে পৌছাইবে যেখানে $OA' = OA + AA' = V + V_w$। এই সময়ের ব্যবধানে শ্রোতা O' বিন্দুতে পৌছাইবে যেখানে $OO' = V_o$; সুতরাং 1 সেকেণ্ড সময়ে $O'A'$-এর মধ্যে সীমাবদ্ধ সমস্ত তরঙ্গগুলিকেই শ্রোতা গ্রহণ করিবে।

কিন্তু $O'A' = O'A + AA' = OA - OO' + AA' = V - V_o + V_w$;

শ্রোতা যে শব্দ শুনিতে পায় তাহার আপাত তীক্ষ্ণতা n' হইলে,

$$n' = \frac{O'A'}{\lambda'} = (V - V_o + V_w) \div \frac{V - V_s + V_w}{n} \text{ [সমীকরণ (a) হইতে]}$$

$$= \frac{V - V_o + V_w}{V - V_s + V_w} \times n$$

উপরের সমীকরণ হইতে শ্রুত শব্দের আপাত তীক্ষ্ণতা নির্ণয় করা সম্ভব। এই আলোচনায় আমরা সমস্ত গতিবেগগুলিকে একই অভিমুখে ধরিয়াছি। যদি কোনটির গতি বিপরীত দিকে হয় সেক্ষেত্রে উপরের সমীকরণে সেই রাশিটির চিহ্ন পরিবর্তিত করিয়া দিতে হইবে।

বিশেষ ক্ষেত্র (Special cases) :

(*a*) শব্দের উৎস এবং শ্রোতা গতিশীল কিন্তু মাধ্যমের কোন গতি নাই এক্ষেত্রে $V_w = O \quad \therefore \quad n' = \frac{V - V_o}{V - V_s} . n$

(*b*) কেবলমাত্র শব্দের উৎস গতিশীল হইলে $V_o = O$ এবং $V_w = O$ হইবে। তখন $n' = \frac{V}{V - V_s} . n$

শব্দের উৎস শ্রোতার দিকে আগাইয়া আসিলে উপরের সমীকরণটি প্রযোজ্য হইবে এবং স্পষ্টতঃই শব্দের আপাত তীক্ষ্ণতা বাড়িয়া যাইবে। উৎসটি দূরে সরিতে থাকিলে V_s রাশিটির চিহ্ন পরিবর্তিত করিতে হইবে। সেক্ষেত্রে $n' = \frac{V}{V+V_s} \cdot n$ এই ক্ষেত্রে তীক্ষ্ণতার আপাত হ্রাস ঘটিবে।

(c) কেবলমাত্র শ্রোতা গতিশীল হইলে, $V_s = O$ এবং $V_w = O$ হইবে।

$$\therefore \quad n' = \frac{V - V_o}{V} . n$$

উপরের ক্ষেত্রে শ্রোতা উৎস হইতে দূরে সরিয়া যাইতেছে। কিন্তু শ্রোতা উৎসের দিকে ধাবমান হইলে V_o রাশিটির চিহ্ন পরিবর্তিত করিতে হইবে। তখন আমরা পাই $n' = \frac{V+V_o}{V} . n$

এই অবস্থায় তীক্ষ্ণতার আপাত বৃদ্ধি ঘটিবে।

(d) শব্দের উৎস এবং শ্রোতা উভয়েই স্থির থাকিলে, $V_s = O$ এবং $V_o = O$, সেক্ষেত্রে $n' = \frac{V+V_w}{V+V_w} . n = n$

অর্থাৎ শ্রোতা এবং উৎসের মধ্যে আপেক্ষিক গতিবেগ না থাকিলে মাধ্যমের গতিবেগের জন্য শব্দের তীক্ষ্ণতার কোন হ্রাসবৃদ্ধি ঘটিবে না।

4.12. **ডপলার সূত্রের পরীক্ষা** (Experimental verification of Doppler's principle) : বিভিন্ন পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া ডপলার সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত করা যায়। নিম্নে একটি পদ্ধতির বর্ণনা দেওয়া হইল।

দুইটি প্রায় সমান কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট স্বরশলাকাকে দুইটি অনুনাদী বাক্সের উপর রাখিয়া বৈদ্যুতিক উপায়ে শলাকা দুইটিকে উত্তেজিত করিলে স্বরকম্পের সৃষ্টি হইবে এবং স্বরকম্পাঙ্কের মান শলাকা দুইটির কম্পাঙ্কের অন্তরফলের সমান হইবে। উদাহরণ স্বরূপ দুইটি শলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 256 এবং 252 হইলে প্রতি সেকেণ্ডে 4টি করিয়া স্বরকম্প শোনা যাইবে। এইবার 256 কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট শলাকাটিকে শ্রোতা হইতে দূরে সরাইতে থাকিলে দেখা যাইবে যে স্বর কম্পাঙ্কের মান কমিয়া যাইতেছে। শলাকাটির আপাত কম্পাঙ্ক কমিলেই এই ধরনের ঘটনা সম্ভব। ডপলারের সূত্র অনুসারে শব্দের উৎসকে শ্রোতা হইতে দূরে সরাইতে থাকিলে উৎসটির আপাত কম্পাঙ্ক কমিয়া যায়। সুতরাং ঘটনাটি ডপলার সূত্র অনুযায়ীই সংঘটিত হইয়াছে। পূর্বের পরীক্ষায় শলাকাটিকে শ্রোতার অভিমুখে আনিতে থাকিলে দেখা যাইবে যে শলাকাটির আপাত কম্পাঙ্ক ডপলার সূত্র অনুযায়ী বাড়িয়া যাইতেছে। এইক্ষেত্রে

স্বরকম্পাঙ্ক বাড়িয়া যাইবে। উৎসের গতিবেগ. শব্দের গতিবেগ ইত্যাদি জানিয়া ডপলার সূত্রের সাহায্যে কম্পাঙ্কের আপাত পরিবর্তন নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে উহা পরীক্ষালব্ধ আপাত পরিবর্তনের সহিত মিলিয়া যাইতেছে। সুতরাং পরীক্ষার সাহায্যে ডপলার সূত্র প্রমাণিত হইল।

4.13. **সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত শব্দ** (Musical sound and noise) :

আমরা প্রতিনিয়ত যে শব্দ শুনিয়া থাকি, তাহাদিগকে মোটামুটি দুইভাগে ভাগ করা যায়। যথা :

(*i*) **সুরযুক্ত শব্দ ও** (*ii*) **সুরবর্জিত শব্দ।**

যে সমস্ত শব্দ আমাদের শুনিতে ভালো লাগে, তাহাদিগকে **সুরযুক্ত শব্দ** বলা হয়। সাধারণতঃ দেখা যায় যে যে-সমস্ত শব্দতরঙ্গের কম্পন নিয়মিত, পর্যাবৃত্ত ও দীর্ঘস্থায়ী, সেই সমস্ত শব্দগুলি আমাদের শুনিতে ভালো লাগে—সেইজন্য ইহাদিগকে সুরযুক্ত শব্দ বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ স্বরশলাকা, সেতার, বেহালা প্রভৃতি হইতে নিঃসৃত শব্দ সুরযুক্ত শব্দ।

শ্রুতি-কটু শব্দকে **সুরবর্জিত শব্দ** বলা হয়। এই ধরনের শব্দ আমাদের শুনিতে ভালো লাগে না। সাধারণভাবে দেখা যায় যে, যে সমস্ত শব্দের তরঙ্গ-কম্পন অনিয়মিত, অপর্যাবৃত্ত এবং ক্ষণস্থায়ী সেই সমস্ত শব্দ আমাদের শুনিতে খারাপ লাগে। সুরবর্জিত শব্দের উদাহরণ হিসাবে বন্দুকের গুলির শব্দ, হাটবাজারের কোলাহল ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে।

একটা জিনিস মনে রাখিতে হইবে যে সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত শব্দের মধ্যে নির্দিষ্ট-ভাবে পার্থক্যের কোন সীমারেখা টানা সম্ভব নহে। একই শব্দ কোন ব্যক্তির নিকট শ্রুতিমধুর আবার অপরের কাছে শ্রুতিকটু বলিয়া বোধ হইতে পারে। আবার কোন শব্দ একই ব্যক্তির কাছে কখনও শ্রুতিমধুর এবং কখনও বা শ্রুতিকটু বলিয়া বোধ হইতে পারে। এই ধরনের পার্থক্য শ্রোতার কান ও মেজাজের উপর নির্ভর করে। আবার অনেক সময় একই শব্দ নিকট হইতে শুনিলে শ্রুতিকটু লাগে কিন্তু দূর হইতে শুনিলে ততটা খারাপ লাগে না। উদাহরণস্বরূপ, ঢাকের আওয়াজ কাছ হইতে শুনিলে খুব কষ্ট হয় ; কিন্তু দূর হইতে শুনিলে ততটা খারাপ লাগে না। একই কারণে হাটের ভিতর থাকলে লোকজনের কোলাহল শ্রুতিকটু লাগে ; কিন্তু দূর হইতে হাটের গুঞ্জন-ধ্বনি মোটামুটি একটা সুরের আমেজ আনিতে সমর্থ হয়। একটি কাঁসার থালাকে আঙ্গুল দিয়া টোকা মারিলে যে শব্দ নিঃসৃত হয় তাহা শুনিতে মোটামুটি ভালই লাগে। কিন্তু সেই থালাটিই হাত হইতে পড়িয়া গেলে যে ঝনঝন শব্দ হয় তাহা আমাদের কানের পক্ষে পীড়াদায়ক হইয়া উঠে। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে সুরযুক্ত এবং

স্বরবর্জিত শব্দের মধ্যে পার্থক্যের নির্দিষ্ট কোন সীমারেখা টানা সম্ভব নয়। ইহা অনেকটা ব্যক্তিগত ব্যাপার।

4. 4. শুদ্ধ-ধ্বনি (tone) ও যৌগিক-ধ্বনি (note) :

কোন উৎস একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে কম্পিত হইলে, যে শব্দের সৃষ্টি হয় তাহাকে **শুদ্ধধ্বনি** বলা হয়। উদারণস্বরূপ স্বরশলাকার কম্পন শুদ্ধধ্বনির সৃষ্টি করে। কারণ স্বরশলাকার কম্পন একটি নির্দিষ্ট কম্পাংকে ঘটিয়া থাকে ; কিন্তু আমরা সাধারণতঃ যে সমস্ত শব্দ শুনিয়া থাকি তাহাদিগকে বিশ্লেষণ করিলে বিভিন্ন কম্পাংকবিশিষ্ট শব্দতরঙ্গ পাওয়া যাইবে। এই ধরনের শব্দকে **যৌগিক ধ্বনি** বলা হয়। সুতরাং বিভিন্ন কম্পাংকবিশিষ্ট কয়েকটি শুদ্ধ ধ্বনির সংমিশ্রণে যৌগিক ধ্বনির সৃষ্টি হয়। বিভিন্ন বর্ণের আলোকের সংমিশ্রণে যেমন সাদা আলোকের সৃষ্টি হয়, সেই রকম শুদ্ধধ্বনির সংমিশ্রণে যৌগিক-ধ্বনির সৃষ্টি হইয়া থাকে।

কোন যৌগিক ধ্বনির সর্বনিম্ন কম্পাংকবিশিষ্ট ধ্বনির কম্পাঙ্ককে **মূলস্বর** (fundam n al) বলা হয় এবং মূলস্বর ছাড়া উচ্চতর কম্পাঙ্কবিশিষ্ট ধ্বনিগুলিকে **উপস্বর** (ove tones) বলে। কিন্তু উপস্বরগুলির কম্পাংক মূলস্বরের কম্পাংকের সরল গুণিতক হইলে উহাদিগকে **সমমেল** (harmonics) বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ ধর কোন অর্গ্যান হইতে 256, 768, 1280 কম্পাংকবিশিষ্ট স্বরগুলি নিঃসৃত হইতেছে। এক্ষেত্রে সর্বনিম্ন কম্পাংকের পরিমাণ 256 হওয়ায় উহা মূলস্বর সূচিত করে। মূলস্বর 256-কে যথাক্রমে 3 ও 5 দ্বারা গুণ করিলে অন্য স্বর দুইটি (768, 1280) পাওয়া যায়। সুতরাং ইহারা মূলস্বরের সমমেল। স্পষ্টতঃই দেখা যাইতেছে, সব উপস্বর সমমেল না-ও হইতে পারে—কিন্তু যে-কোন সমমেল উপস্বর হইতে বাধ্য। কোন ধ্বনির কম্পাংক অন্য একটি ধ্বনির কম্পাংকের দ্বিগুণ হইলে প্রথম কম্পাংককে দ্বিতীয় কম্পাংকের **অষ্টক** (octave) বলে। উদাহরণস্বরূপ দুইটি ধ্বনির কম্পাক যথাক্রমে 256 ও 512 হইলে 512-কে 256 কম্পাংকবিশিষ্ট ধ্বনির অষ্টক বলা হইবে। স্বরগ্রামে (mus cal scale) সা, রে, গা, মা, পা, ধা, নি, সা, বিদ্যমান থাকে। শেষের 'সা' ধ্বনির কম্পাংক প্রথম 'সা'-এর কম্পাংকের দ্বিগুণ হওয়ায় স্বরগ্রামের শেষের 'সা'-টি প্রথম 'সা'-এর অষ্টক বলিয়া পরিগণিত হয়।

4-15. সুরসমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of musical sound) : সুরসমৃদ্ধ শব্দের নিম্নলিখিত তিনটি বৈশিষ্ট্য থাকে :

(*a*) **প্রাবল্য** (loudness) বা **তীব্রতা** (intensity)

(*b*) **তীক্ষ্ণতা** (pitch) এবং

(*c*) **গুণ** (Quality) বা **জাতি** (timber)।

(*a*) **প্রাবল্য বা তীব্রতা :** কোন শব্দের প্রাবল্য বেশী হইলে কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে এবং নির্দিষ্ট সময়ে বেশী পরিমাণ শব্দ-শক্তি আসিয়া পৌঁছাইবে। শব্দতরঙ্গের গতিপথের কল্পিত অভিলম্ব তলের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের ভিতর দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ শব্দশক্তি প্রবাহিত হয় তাহা ঐ বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা সূচিত করে। শব্দের তীব্রতা নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভরশীল।

(*i*) **স্বনকের আকার** (Size of the vibrating body) **:** যে বস্তুটির কম্পনের জন্য শব্দ সৃষ্টি হয় তাহা আকারে বড় হইলে শব্দের তীব্রতা বেশী হইবে। ইহার কারণ এই যে স্বনকটি আকারে বড় হওয়ায় একই সময়ে বেশী পরিমাণে বায়ু-মাধ্যমে শব্দতরঙ্গ সঞ্চালিত হইতে পারে। ফলে শব্দের তীব্রতা বাড়িয়া যায়।

(*ii*) **স্বনকের কম্পন বিস্তার** (Amplitude of vibration of the vibrating body) **:** স্বনকের কম্পন বিস্তার বেশী হইলে শব্দের তীব্রতা বাড়িয়া যাইবে। প্রমাণ করা যাইতে পারে যে শব্দের তীব্রতা স্বনকের কম্পন বিস্তারের বর্গের সহিত সমানুপাতিক।

(*iii*) **স্বনকের দূরত্ব** (Distance of the vibrating body) **:** শ্রোতা হইতে স্বনকের দূরত্ব যত বাড়িবে শব্দের তীব্রতা তত কমিয়া যাইবে। পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায় যে শব্দের তীব্রতা স্বনক হইতে দূরত্বের বর্গের সহিত ব্যস্তানুপাতিক।

(*iv*) **মাধ্যমের ঘনত্ব** (Density of the medium) **:** যে মাধ্যমের মধ্য দিয়া শব্দতরঙ্গ সঞ্চালিত হয় তাহার ঘনত্ব বেশী হইলে তীব্রতা বাড়িয়া যাইবে।

(*v*) **অনুনাদী বস্তুর উপস্থিতি** (Presence of resonant bodies) **:** স্বনকের নিকট অনুনাদী বস্তু থাকিলে শব্দের তীব্রতা বাড়াইয়া দেয়। এই কারণে কম্পনশীল কোন সুরশলাকাকে একটি উপযুক্ত কাঠের ফাঁপা বাক্সের উপর রাখিলে বেশী শব্দ শোনা যায়।

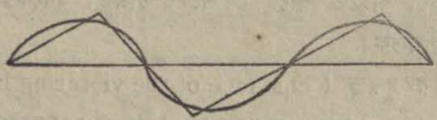
(*vi*) **মাধ্যমের গতি** (Motion of the medium) **:** স্বনক হইতে শ্রোতার অভিমুখে মাধ্যমের গতি ঘটিলে শব্দের তীব্রতা বাড়িয়া যাইবে। গতিবেগ বিপরীত দিকে হইলে তীব্রতা কমিয়া যাইবে।

(*b*) **তীক্ষ্ণতা** (Pitch) **:** ইহার সাহায্যে একই তীব্রতাবিশিষ্ট খাদের সুর এবং চড়াসুরের ভিতর পার্থক্য করা যাইতে পারে। তীক্ষ্ণতা কমিলে সুর খাদে নামে ; কিন্তু উহা বাড়িয়া গেলে সুর চড়া হয়। পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায় যে স্বনকের কম্পাংক বৃদ্ধি পাইলে সুরের তীক্ষ্ণতা বাড়িয়া যায়। কম্পাংক খুব বেশী হইলে সুর খুব চড়া হইবে। উদাহরণস্বরূপ হার্মোনিয়ামের সা, রে, গা, মা, প্রভৃতি রীডগুলির কম্পাংক

পরস্পর বেশী হওয়ায় উহাদের পরস্পর চিপিয়া গেলে শব্দের তীক্ষ্ণতা ক্রমশঃ বাড়িয়া যায়।

শব্দের তীক্ষ্ণতা কম্পাংকের উপর নির্ভরশীল বলিয়া সাধারণতঃ তীক্ষ্ণতাকে কম্পাংক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(c) **গুণ বা জাতি** (Quality or Timber) **:** ইহার সাহায্যে একই তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতাবিশিষ্ট দুইটি স্বরের ভিতর পার্থক্য ধরা যায়। দুইটি বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্র হইতে একই তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতাবিশিষ্ট দুইটি স্বর নিঃসৃত হইলে আমরা সহজেই বুঝিতে পারি কোন্ স্বর কোন্ বাদ্যযন্ত্র হইতে আসিতেছে। ইহার কারণ বিভিন্ন যন্ত্র হইতে নিঃসৃত শব্দের গুণ বা জাতি আলাদা। কোন শব্দের গুণ, মূলস্বরের সহিত কি ধরনের উপস্বর বিদ্যমান আছে তাহার উপর নির্ভর করে। দুইটি স্বরসমৃদ্ধ শব্দের মূলস্বর এক হইলেও উহাতে বিদ্যমান উপস্বরগুলি বিভিন্ন কম্পাংকবিশিষ্ট অথবা বিভিন্ন পরিমাণে হইলেও



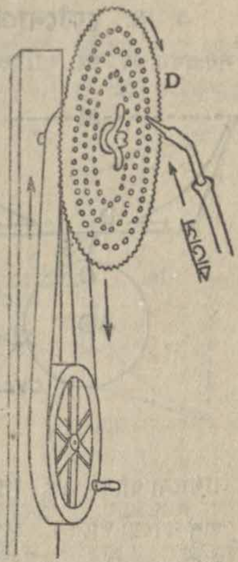
চিত্র নং—4 খ

শব্দ দুইটির গুণ বিভিন্ন হইবে। উপস্বরগুলি বিদ্যমান থাকায় শব্দের তরঙ্গরূপ জটিল আকার ধারণ করে। 4 খ নং চিত্রে একই কম্পাঙ্ক ও তীক্ষ্ণতা বিশিষ্ট দুইটি শব্দের তরঙ্গরূপ দেখানো হইয়াছে ; কিন্তু উহাদের মধ্যে উপস্বরগুলির সংখ্যা বিভিন্ন বলিয়া উহাদের গুণ বিভিন্ন হইবে। সুতরাং শব্দের গুণ বা জাতি উহার তরঙ্গাকৃতির উপর নির্ভর করে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ করা যাইতে পারে যে খাঁজকাটা তরঙ্গরূপটি বেহালা নিঃসৃত শব্দের তরঙ্গরূপ। স্বরশলাকা কম্পিত হইলে সাধারণতঃ দ্বিতীয় আকারের তরঙ্গরূপ সৃষ্টি করে।

4. 16. সীবেকের সাইরেন (Seebeck's Siren) :

এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন স্বরের তীক্ষ্ণতার পরিমাপ করা যায়। এই যন্ত্রে একটি ধাতব চাকতি D আছে। কিন্তু উহার গায়ে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্তের পরিধির উপর সমান সমান দূরত্বে কতকগুলি ছিদ্র থাকে (চিত্র 4গ)। নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের যে কোন বৃত্তের পরিধির উপর ছিদ্রগুলি সমান মাপের এবং পরস্পর হইতে সমান সমান দূরে অবস্থিত। চাকতিটিকে অনুভূমিক অক্ষের উপর খাড়াভাবে রাখিয়া ঘূর্ণন-চক্র এবং বেল্টের সাহায্যে উহাকে বিভিন্ন গতিবেগে ঘুরানো যাইতে পারে। দ্রুতমাপক যন্ত্রের (speed counter) সাহায্যে চাকতিটির ঘূর্ণন-বেগ মাপা হয়। চাকতিটির

সম্মুখে একটি সরু মুখ নল (nozzle) দাঁড় করানো থাকে। নলটির অপর প্রান্ত রবারের নলের সাহায্যে একটি হাপরের সহিত যুক্ত থাকে। হাপরটি চালাইলে সরু মুখ নল দিয়া উচ্চচাপে বাতাস বাহির হইয়া আসে। এইবার নলটিকে কোন নির্দিষ্ট সমবৃত্ত ছিদ্রশ্রেণীর সম্মুখে রাখিয়া চাকৃতিটিকে ঘুরাইলে একটি শব্দের সৃষ্টি হইবে। ইহার কারণ বায়ুপ্রবাহ একবার ছিদ্রের মধ্য দিয়া গমন করিয়া চাকৃতির অপর পার্শ্বের বায়ুমাধ্যমে ঘনীভবনের সৃষ্টি করিবে। কিন্তু পরক্ষণেই ছিদ্র সরিয়া যাইবার জন্য বায়ুপ্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হইবে। সেই সময় চাকৃতির অপর পার্শ্বের ঘনীভবন-স্তরটি স্বাভাবিক হইবার চেষ্টা করিবে এবং তনূভবনের সৃষ্টি করিবে। সরু নলটি পরবর্তী ছিদ্রের সম্মুখে আসিলে উপরোক্ত ঘটনার পুনরাবৃত্তি ঘটিবে। সুতরাং চাকৃতিটি ঘুরিতে থাকিলে বায়ুপ্রবাহের জন্য পর্যায়ক্রমে চাকৃতিটির অপর পার্শ্বে ঘনীভবন ও তনূভবনের সৃষ্টি করিয়া একটি শব্দের সৃষ্টি করিবে। চাকৃতিটি জোরে ঘুরিলে শব্দের তীক্ষ্ণতা বাড়িয়া যাইবে। চাকৃতিটির গতি অপরিবর্তিত রাখিয়া নলটিকে বেশী সংখ্যক ছিদ্রের সারির সম্মুখে ধরিলেও শব্দের তীক্ষ্ণতা বাড়িয়া যাইবে। চাকৃতিটি ঘুরিতে থাকার জন্য নলটির সম্মুখে প্রতি সেকেণ্ডে যত সংখ্যক ছিদ্র আসিবে, চাকতির অপর পার্শ্বের বায়ুমাধ্যমে প্রতি সেকেণ্ডে ঠিক ততগুলি ঘনীভবন ও তনূভবনের সৃষ্টি হইবে। ঘনীভবন অথবা তনূভবনের সংখ্যা নিঃসৃত শব্দের কম্পাঙ্ক সূচিত করিবে। বৃত্তের যে পরিধির সম্মুখে নলটি ধরা আছে, তাহাতে ছিদ্র সংখ্যা m হইলে এবং চাকৃতিটির ঘূর্ণনসংখ্যা প্রতিসেকেণ্ডে n হইলে নিঃসৃত শব্দের তীক্ষ্ণতা বা কম্পাংক $m \times n$ হইবে। দ্রুতিমাপক যন্ত্র হইতে n-এর মান পাওয়া যাইবে।

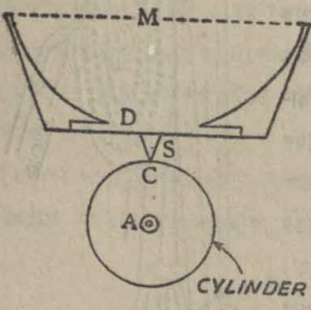


চিত্র নং—4 গ

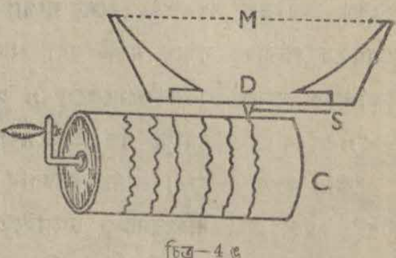
কোন স্বরের তীক্ষ্ণতা নির্ণয় করিবার জন্য একই সংগে পরীক্ষণীয় শব্দটি সৃষ্টি করিতে হইবে এবং সাইরেনটিও চালাইতে হইবে। এইবার সাইরেনের ঘূর্ণন ধীরে ধীরে বাড়াইয়া এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত করিতে হইবে যে পরীক্ষণীয় স্বরের তীক্ষ্ণতার সহিত সাইরেন হইতে নিঃসৃত শব্দের তীক্ষ্ণতা সমান হইয়া যায়। এই অবস্থায় শব্দ দুইটির একমেল (unison) ঘটিয়াছে বলা হয়। এইরূপ ঘটিলে চাকৃতিটির যে বৃত্তের ছিদ্রশ্রেণী ব্যবহার করা হইয়াছে, তাহার ছিদ্রসংখ্যার সহিত সাইরেনটির ঘূর্ণনকে গুণ করিলে পরীক্ষণীয় স্বরের তীক্ষ্ণতা পাওয়া যাইবে।

4.17. **শব্দগ্রহণ ও উহার পুনরুৎপাদন** (Recording of sound and its reproduction) : ফোনোগ্রাফ, গ্রামোফোন, সিনেমা ফিল্ম, টেপ 'রেকর্ডার' ইত্যাদির সাহায্যে শব্দ রেকর্ড করা এবং পুনরুৎপাদন করা সম্ভব।

4. 18. **ফোনোগ্রাফ** (phonograph) : বিজ্ঞানী টমাস আলভা এডিসন সর্বপ্রথম এই যন্ত্র আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রে মোমের প্রলেপ দেওয়া একটি ড্রাম (*C*) থাকে (চিত্র 4 ঘ)। হাতলের সাহায্যে (চিত্রে দেখানো হয় নাই) ড্রামটিকে এমনভাবে ঘোরানোর ব্যবস্থা থাকে যাহাতে ড্রামটি নির্দিষ্ট বেগে ঘুরিতে থাকে এবং সঙ্গে সঙ্গে অক্ষ বরাবর আগাইয়া যায়, ড্রামের উপরে অধিবৃত্ত আকারের একটি চোঙ বা হর্ণ (M) থাকে এবং হর্ণের সরু মুখের সহিত গোলাকার ধাতব পর্দা (*D*) সংযুক্ত থাকে। টাংষ্টেন ধাতুর তৈয়ারী একটি সরু পিন (*S*) ধাতব পর্দাটির সহিত সমকোণে লাগানো থাকে এবং পিনের ছুঁচালো প্রান্তটি ড্রামে লাগানো মোমের প্রলেপকে স্পর্শ করিয়া থাকে। হর্ণের মুখে ধাতব পর্দার সামনে কথা বলিলে ধাতব পর্দাটি কাঁপিতে থাকিবে এবং পিনটি মোমের উপর দাগ কাটিবে। প্রযুক্ত শব্দের প্রাবল্যের উপর ধাতবপাতের কম্পনের মাত্রা এবং কম্পনের মাত্রার উপর মোমের উপর দাগের গভীরতা নির্ভর করিবে। সুতরাং বলা যাইতে পারে যে মোমের উপর দাগের গভীরতা শব্দের প্রাবল্যের উপর নির্ভরশীল। শব্দ গ্রহণের সময় হাতলটি ঘোরানো হয়। ইহার ফলে ড্রামটি ঘূর্ণায়মান অবস্থায় অক্ষ বরাবর আগাইয়া চলে এবং পিনটি ড্রামের উপরিভাগে কুণ্ডলী আকারের দাগ কাটিয়া চলে (চিত্র 4 ঙ)। দাগের গভীরতা শব্দের প্রাবল্যের উপর নির্ভর করে বলিয়া ঐ গভীরতা বিভিন্নস্থানে বিভিন্ন হইবে। এইভাবে ফোনোগ্রাফ যন্ত্রের সাহায্যে শব্দ গ্রহণ করা হয়।



চিত্র - 4 ঘ

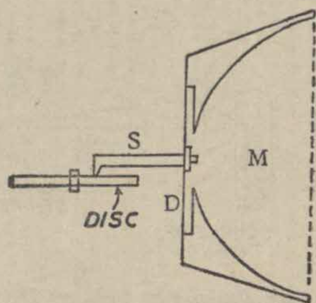


চিত্র—4 ঙ

শব্দ পুনরুৎপাদনের জন্য ড্রামের উপর পিনটিকে প্রাথমিক অবস্থানে রাখিয়া পূর্বেকার বেগে ড্রামটিকে একইভাবে ঘোরাইতে হইবে। ইহার ফলে পিনটির অগ্রভাগ দাগ বরাবর চলিতে থাকিবে। দাগের গভীরতার উপর নির্ভর করিয়া পিনটি উঠানামা

করিতে থাকিবে এবং তাহার সহিত যুক্ত ধাতব পর্দাটিও অনুরূপভাবে কাঁপিতে থাকিবে। এই কম্পন হর্ণের বায়ুস্তরে সঞ্চালিত হইয়া যে শব্দের সৃষ্টি করিবে তাহা পূর্ব্বেকার রেকর্ড করা শব্দের অনুরূপ হইবে।

4.19. **গ্রামোফোন** (Gramophone): ফনোগ্রাফের সাহায্যে শব্দ গ্রহণ এবং শব্দের পুনরুৎপাদন সম্ভব। কিন্তু ইহার বিশেষ অসুবিধা এই যে যন্ত্রটি কয়েকবার ব্যবহার করিলেই মোমের উপর দাগের গভীরতা পরিবর্তিত হইয়া যায় এবং আর ঠিক ঠিক শব্দ পাওয়া যায় না। গ্রামোফোন যন্ত্রে এই অসুবিধা থাকেনা। এই যন্ত্রে ড্রামের বদলে মোম, গালা ইত্যাদির তৈয়ারী গোল চাকতি ব্যবহার করা হয় (চিত্র 4 চ)। চাকতিটিকে একটি ঘূর্ণনক্ষম প্লেটের উপর রাখা হয় এবং প্লেটটিকে বৈদ্যুতিক মোটর অথবা স্প্রিং-এর সাহায্যে নির্দিষ্ট বেগে ঘোরানো হয়। চোঙ M-এর সম্মুখে কথা বলিলে ধাতব পর্দা D এবং সঙ্গে সঙ্গে পিন (S) কাঁপিতে থাকিবে এবং চাকতির উপর দাগ কাটিতে থাকিবে। স্পষ্টতঃই দাগগুলি অসমান প্রস্থের হইবে এবং পিনের গতিপথ চাকতির পরিধি হইতে শুরু করিয়া সর্পিল পথে (spirally) প্রায় কেন্দ্রবিন্দুতে মিশিয়া যাইবে।



চিত্র—4 চ

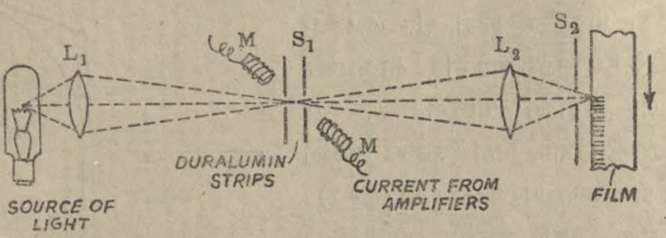
একটি রেকর্ড হইতে বহুসংখ্যক রেকর্ড উৎপাদনের জন্য মোমের প্রলেপ লাগানো চাকতি হইতে ইলেক্ট্রোপ্লেটিং-এর সাহায্যে ধাতব ছাচ তৈয়ারী করা হয়। এই ধাতব ছাচের সাহায্যে থার্মোপ্লাষ্টিক নীতি অবলম্বন করিয়া বহু সংখ্যক রেকর্ড উৎপাদন করা হয়।

শব্দের পুনরুৎপাদনের জন্য পিনের পার্শ্বগতির তারতম্য লিভারের সাহায্যে বিবর্ধিত করিয়া ডায়াফ্রাম অর্থাৎ ধাতব পর্দার উপর সংবাহিত করা হয়। ইহার ফলে পর্দাটি কাঁপিতে থাকে এবং পূর্ব্বেকার রেকর্ড করা শব্দ শোনা যায়।

4.20. **ফিল্মে শব্দগ্রহণ** (Recording of sound on films): চলচ্চিত্রে সাধারণতঃ যে ফিল্ম ব্যবহার করা হয় তাহা চওড়ায় 35 মিমি. হয় এবং ফিল্মের একপাশ প্রায় 2·5 মিমি. অংশ শব্দরেখার জন্য (for sound track) নির্ধারিত থাকে। ফিল্মে শব্দগ্রহণের জন্য দুইরকম পদ্ধতি ব্যবহৃত হইয়া থাকে, যথা—(*a*) **পরিবর্তনীয় ঘনত্ব পদ্ধতি** (variable density method) এবং (*b*) **পরি-**

বর্তনীয় ক্ষেত্রফল পদ্ধতি (variable area method)। আমরা কেবলমাত্র প্রথম পদ্ধতিটি বর্ণনা করিব।

পরিবর্তনীয় ঘনত্ব পদ্ধতি ঃ 4ছ নং চিত্রে পরিবর্তনীয় ঘনত্ব পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া কিভাবে ফিল্মে শব্দগ্রহণ করা হয় তাহা দেখানো হইয়াছে। মাইক্রোফোনের সামনে (চিত্রে দেখানো হয় নাই) কোন ব্যক্তি গান করেন অথবা কথা বলেন।

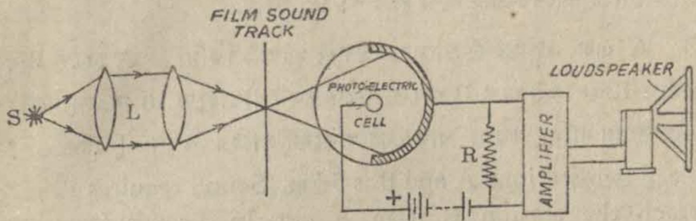


চিত্র—4 ছ

মাইক্রোফোন হইতে পরিবর্ধিত তড়িৎপ্রবাহ তড়িচ্চুম্বক M, M-এ পাঠাইলে তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তনের উপর নির্ভর করিয়া উল্লম্ব শ্লিট S_1 এর ছিদ্রমুখের প্রস্থের তারতম্য ঘটিবে। কথা বলা, মাইক্রোফোনে তড়িৎচ্চুম্বকের শক্তি এবং শ্লিটের ছিদ্রমুখের তারতম্য পরস্পর পরস্পরের সহিত সম্পর্কান্বিত বলিয়া ছিদ্রমুখের তারতম্য বক্তার শব্দের উপর নির্ভর করিবে। জোরালো আলোকের উৎস হইতে আলোককে L_1 লেন্সের সাহায্যে ডুরালুমিনিয়াম রিবনের উপর ফোকাস করা হয় এবং S_1-এর ভিতর দিয়া নির্গত আলোককে L_2 লেন্সের সাহায্যে গতিশীল ফিল্মের উপর ফোকাস করা হয়। শব্দের জন্য S_1 শ্লিটের প্রস্থের তারতম্য ঘটে বলিয়া ফিল্মের উপর কতকগুলি বিভিন্ন অস্বচ্ছতার (opacity) সমান্তরাল সরলরেখা পাওয়া যাইবে। ছবি এবং উপযুক্ত শব্দ ফিল্মের একই অংশে পাশাপাশি থাকে।

4.21 **ফিল্মে শব্দের পুনরুৎপাদন** (Reproduction of sound in films) **ঃ** 4জ নং চিত্রে ফিল্মে শব্দ পুনরুৎপাদনের ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। জোরালো আলোক উৎস S হইতে আলোক বাহির হইয়া লেন্স সমন্বয় L-এর ভিতর দিয়া যায় এবং ধাবমান ফিল্মের যে অংশে শব্দরেখা (sound track) আছে তাহার উপর আপতিত হয়। ফিল্মে পরিবর্তনীয় ঘনত্বের জন্য পরিবাহিত আলোকের তীব্রতা কম বেশী হইবে। এইবার পরিবর্তনীয় আলোককে ফটো-ইলেকট্রিক কোষে ফেলিলে পরিবর্তনীয় তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হইবে। এই তড়িৎপ্রবাহকে লাউডস্পীকারে

পাঠাইলে শব্দ শোনা যাইবে। যে গতিবেগে ফিল্মে শব্দ গ্রহণ করা হইয়াছিল, পুনরুৎপাদনের সময় ফিল্মটিকে সেই গতিবেগে চালাইতে হইবে। শব্দগ্রহণ ঘনত্ব



চিত্র–4 ঙ

পরিবর্তন বা ক্ষেত্রফল পরিবর্তন পদ্ধতিতে করিলেও এই পদ্ধতির সাহায্যে শব্দের পুনরুৎপাদন করা হইয়া থাকে।

উদাহরণ :

1. তড়িৎ মোক্ষণের কম্পাংক দেখার 11 সেকেণ্ড পরে শব্দ শুনিতে পাইলে মেঘের দূরত্ব নির্ণয় কর, বাতাসে শব্দের গতিবেগ = 332 মি./সে.। [If 11 seconds be the time interval between seeing the flash and hearing the sound of a lightning discharge, find the distance of the cloud from the observer. (Velocity of sound in air = 332 m./sec.)]

উঃ। নির্ণেয় দূরত্ব $x = V \cdot t = 332 \times 11$ মি.

$= 3{\cdot}652$ কিমি.

2. কোন দুর্গ হইতে নির্দিষ্ট সময়ে কামান দাগা হয়। নির্দিষ্ট দূরে অবস্থিত কোন ব্যক্তি শব্দ শুনিয়া তাহার ঘড়ি মিলাইল এবং পরে দেখিল যে তাহার ঘড়িটি আধ মিনিট শ্লো হইয়াছে। কেন এইরূপ হইল ? শব্দের গতিবেগ 332 মি./সে. হইলে দুর্গ হইতে ব্যক্তিটির দূরত্ব বাহির কর। [A cannon is fired from a fort at a fixed hour. An observer, from a distance sets his watch by the report of the gun, but finds later that it is slow by half a minute. Can you say, why ? Can you calculate the distance of the fort from the observer, assuming the velocity of sound to be 332 m./sec. ?] [C. U. 1964]

উঃ। শব্দের নির্দিষ্ট গতিবেগ থাকার জন্য পর্যবেক্ষকের নিকট শব্দ পৌঁছিতে কিছু সময় লাগিয়াছিল। শব্দ শুনিয়া ঘড়ি মেলানোর জন্য উপরোক্ত কারণে ঘড়িটি শ্লো হইয়া যায়। কিন্তু, $\frac{1}{2}$ মিনিট = 30 সেকেণ্ড।

30 সেকেণ্ড শব্দ কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব $=30\times 332$ মি. $=9\cdot96$ কিমি.

মাইল $=6\frac{1}{4}$ মাইল।

∴ দুর্গ ও পর্যবেক্ষকের মধ্যে দূরত্ব $=9\cdot96$ কিমি.।

3. A এবং B দুইটি স্থানের অন্তর্বর্তী দূরত্ব 5 কিমি.। A হইতে B-তে শব্দ পৌছাইতে 12 সেকেণ্ড এবং B হইতে A-তে শব্দ পৌছাইতে 16 সে. লাগিলে শব্দের প্রকৃত গতিবেগ বাহির কর। বাতাসের গতিবেগ বাহির কর। [The distance between two stations A and B is 5 km. Sound requires 12 seconds to reach the station B from A but 16 seconds from B to A. Calculate the true velocity of sound. Find also the velocity of wind.]

উঃ। আমরা জানি,

$$V=\frac{x}{2}\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right)=\frac{5000}{2}\left(\frac{1}{12}+\frac{1}{16}\right)=\frac{5000}{2}\times\frac{7}{48}$$

$=364\cdot6$ মি./সেকেণ্ড।

আবার A হইতে B-এর অভিমুখে বাতাসের গতিবেগ যদি v হয় তবে,

$$V+v=\frac{x}{t}=\frac{5000}{12}=416\cdot6$$

$\therefore\ v=416\cdot6-V=416\cdot6-364\cdot6=52$ মি./সে.।

4. হাইড্রোজেন গ্যাসের চাপ 76 সেমি. পারক বচাপের সমান হইলে ঐ গ্যাসে শব্দের গতিবেগ বাহির কর। হাইড্রোজেনের ঘনত্ব 0·0000896 গ্রা./সি. সি.। [Calculate the velocity of sound in hydrogen gas under a pressure of 76 cm. of Hg. (Density of hydrogen = 0·0000896 gm./c.c)]

উ.। ধর হাইড্রোজেন গ্যাসে শব্দের গতিবেগ $=V$

$$\therefore\ V=\sqrt{\frac{\lambda P}{\rho}}=\sqrt{\frac{1\cdot41\times76\times13\cdot6\times98}{0\cdot0000896}}\ \text{সেমি./সেকেণ্ড।}$$

$=126400$ সেমি./সেকেণ্ড।

$=1264$ মিটার/সেকেণ্ড।

5. স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় বায়ুতে শব্দের গতিবেগ 330 মিটার/সে. হইলে 70 সেমি. চাপ ও 50°C তাপমাত্রায় গতিবেগ বাহির কর। [If the velocity of sound in air at 0°C and 76 cm, pressure is 330 metres/sec., find the velocity at 50°C and 70 cm. pressure,] [C.U. 1943]

উঃ। চাপের পরিবর্তনের জন্য শব্দের গতিবেগ পরিবর্তিত হইবে না ; কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য গতিবেগ পরিবর্তিত হইবে। 50°C-এ শব্দের গতিবেগ V_{50} হইলে,

$$V_{50} = V_0(1+\tfrac{1}{2}\alpha t) = 330(1+\tfrac{1}{2}\times \cdot 00183\times 50)$$

$$[\because \alpha = \cdot 00183]$$

$$= 300\times(1+\cdot 04575) = 345\cdot 2 \text{ মিটার/সেকেণ্ড।}$$

6. লম্বা লোহার নলের একপ্রান্তে শব্দ করিলে নলটির অপর প্রান্তে 2·5 সেকেণ্ড সময়ের ব্যবধানে দুইটি শব্দ শোনা যায়। নলটির দৈর্ঘ্য 951·25 মিটার হইলে লোহার ভিতর শব্দের গতিবেগ বাহির কর। [তাপমাত্রা = 10°C এবং এই তাপমাত্রায় বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 338·6 মিটার/সে,)। [A sound is emitted by a source placad at one end of a long iron tube and two sounds aae heard at the other end at an interval of 2·5 secs. If the length of the tube is 9 1·25 metres, find the velocity of sound in iron, Assume the temperature as 10°C and velocity of sound in an at 10°C as 338·6 metres/sec.]

উঃ। লোহার ভিতর শব্দের গতিবেগ V_s হইলে নলটির ভিতর দিয়া শব্দটি যাইতে যে সময় লাগিবে তাহার পরিমাণ = 951·25/V_s সেকেণ্ড।

বায়ু মাধ্যমে ঐ দূরত্ব যাইতে যে সময় লাগে তাহার পরিমাণ = $\frac{951\cdot 25}{3386}$ সে,

প্রদত্ত সর্তানুসারে $\frac{951\cdot 2}{338\cdot 6} - \frac{951\cdot 25}{V_s} = 2\cdot 5$

বা, $V = 3076$ মিটার/সে.।

7. ঘণ্টায় 60 কিমি. বেগে কোন ট্রেন 256 কম্পাংক বিশিষ্ট হুইসিল বাজাইতে বাজাইতে স্টেশন অতিক্রম করিতেছে। স্টেশনে দণ্ডায়মান কোন ব্যক্তির কাছে শব্দের আপাত কম্পাংক কত মনে হইবে যখন ট্রেনটি (*a*) ব্যক্তির দিকে আসিতেছে, (*b*) ব্যক্তিটি হইতে দূরে সরিয়া যাইতেছে ? উপরের দুই ক্ষেত্রে কম্পাংকের অবকাশ কত হইবে ? (শব্দের বেগ 300 মি./সে.)। [A train is passing a station with a speed of 60 km.h. and blowing continuously a whistle of frequeocy 256 per sec. What will be the frequencies apparent to a person waiting on the platform, when the train is (*a*) approaching, (*b*) departing ? What is the interval between these two notes ? Velocity of sound = 300 m./sec.] [C. U.]

উঃ। এখানে $V_w=0$; $V_o=0$; $V=300$ মি./সে. এবং

$$V_s=60 \text{ কিমি./ঘণ্টা}=\frac{60\times 1000}{60\times 60}=16{\cdot}67 \text{ মি./সে.}$$

(a) ট্রেনটি যখন ব্যক্তিটির অভিমুখে আসিতেছে, তখন আপাত কম্পাংক

$$n_1=\frac{V}{V-V_s}\times n=\frac{300}{300-16{\cdot}67}\times 256=271$$

(b) ট্রেনটি যখন দূরে সরিয়া যাইতেছে, তখন আপাতকম্পাঙ্ক

$$n_2=\frac{V}{V+V_s}\times n=\frac{300}{300+16{\cdot}67}\times 256=242{\cdot}5$$

দুইটি কম্পাংকের অবকাশ বলিতে কম্পাংক দুইটির অনুপাতকে বুঝায়।

$$\therefore \text{ নির্ণেয় অবকাশ}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{271}{242{\cdot}5}=1{\cdot}11$$

8. কোন শব্দের উৎস শব্দের গতিবেগে কোন ব্যক্তির নিকট হইতে দূরে সরিলে ব্যক্তিটির নিকট শব্দের আপাত কম্পাংক প্রকৃত কম্পাংকের অর্ধেক বলিয়া মনে হইবে—তাহা প্রমাণ কর। [Show that if a source moves away with the velocity of sound from an observer who is at rest, the frequency of vibration is halved.] [C. U.]

উঃ। প্রকৃত কম্পাংক n, আপাত কম্পাংক n' হইলে উৎসটি দূরে সরিয়া যায় বলিয়া

$$n'=\frac{V}{V+V_s}\times n=\frac{V}{V+V}\times n \quad [\because \text{ প্রদত্ত সর্তানুসারে } V_s=V]$$

$$=\tfrac{1}{2}n \text{ (প্রমাণিত)।}$$

9. সাইরেন পদ্ধতি পাইপে 32টি ছিদ্র আছে এবং কোন সুরশলাকার কম্পাংক 512 ; বেগে ঘুরিলে সাইরেনের এবং সুরশলাকার শব্দ সমমেলে থাকিবে কত ? [The disc of a given siren has 32 holes. A tuning fork makes 512 vibrations per sec. What must be the speed of rotation per minute of the siren dice so that the note emitted by the siren may be in unison with that emitted by the may be in unison with that emitted by the tuning fork ?] [C.U. 1910]

উঃ। ধর প্রতি সেকেণ্ডে ঘূর্ণন সংখ্যা $=n$

$$\therefore \quad m\times n=\text{শব্দের কম্পন সংখ্যা}=512$$

$$\text{বা, } n=\frac{512}{m}=\frac{512}{32}=16$$

$$\therefore \text{ প্রতিমিনিটে ঘূর্ণনসংখ্যা}=16\times 60=960$$

10. সাইরেনের পরিধিতে 200টি ছিদ্র আছে এবং উহার ঘূর্ণনশব্দ সংখ্যা =132 প্রতি মিনিটে। সাইরেনের শব্দ স্বরশলাকার শব্দের তুলনায় এক অষ্টক নীচে হইলে স্বরশলাকার কম্পাংক বাহির কর। [A siren having a ring of 200 holes is making 132 revolutions per minute. It is found to emit a note which is an octave lower than that of a tuning fork. Find the frequency of the latter.] [C. U. 1944]

উঃ। সাইরেন হইতে প্রতিসেকেণ্ডে নিঃসৃত শব্দের কম্পন সংখ্যা

$= m \times n$ যেখানে m = ছিদ্রসংখ্যা এবং n = প্রতিসেকেণ্ডে ঘূর্ণনসংখ্যা।

$$= 200 \times \frac{132}{60} = 440.$$

সাইরেন-নিঃসৃত শব্দ স্বরশলাকা-নিঃসৃত শব্দের চেয়ে এক অষ্টক নীচে বলিয়া স্বরশলাকার কম্পাংক $= 2 \times 440 = 880$.

॥ প্রশ্নবলী ॥

1. দেখাও যে শব্দ তরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ।

[Show that sound waves are elaslic waves.]

2. শব্দের নির্দিষ্ট গতিবেগ আছে তাহা কিরূপে জানা যায়। পরীক্ষার সাহায্যে গতিবেগ কিরূপে নির্ণয় করিবে তাহার বর্ণনা দাও। পরীক্ষার সম্ভাব্য ত্রুটিগুলি কি কি এবং তাহাদের কিরূপে দূর করিবে ?

[What does lead us to believe that sound has a definite velocity ? Describe an experiment by which the velocity of sound in air can be determined. What are the probable sources of error ? Discuss the remedies.]

3. বায়ুতে শব্দের গতিবেগ কিরূপে নির্ণয় করিবে তাহার বর্ণনা দাও। শব্দের গতিবেগের উপর (i) ঘনত্বের প্রভাব, (ii) চাপের প্রভাব, (iii) তাপমাত্রার প্রভাব এবং (iv) আর্দ্রতার প্রভাব কি হইবে ?

[Describe any method of determining the velocity of sound in air. How is the velocity of sound affected by (i) Change of density, (ii) Change of pressure, (iii) Change of temperature and (iv) Change of humidity ?]

4. গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ সম্পর্কিত নিউটনের সূত্রটি প্রমাণিত কর। এই সূত্রের সাহায্যে স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় বায়ুমাধ্যমে শব্দের গতিবেগ বাহির কর। প্রাপ্ত ফলের সমালোচনা কর।

[Daduce Newtons formula for velocity of sound in air. Calculate, with its help, the velocity of sound in air at N. T. P. Criticise the result so obtained.]

5. গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ সম্পর্কিত নিউটনের সূত্রটি লিখ। এই সূত্রটি কি হিসাবে ত্রুটিপূর্ণ ? ল্যাপলাস ইহার কি সংশোধন করেন ? ল্যাপলাস সূত্রের সাহায্যে স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় কর।

[Write down Newton's formula for the velocity of sound in a gas. Why is the forumla defective ? State Laplaces correction and calculate the velocity of sound in air at N. T. P. with Laplace's formula.]

6. স্বাভাবিক চাপে এবং 15°C তাপমাত্রায় কোন গ্যাসে শব্দের গতিবেগ 330 মিটার/সে. হইলে 250°C তাপমাত্রায় গতিবেগ নির্ণয় কর।

[Velocity of sound in a gas at 15°C and normal pressure is 330 meters/sec. Calculate the velocity at 250°C.] [Ans. 444·6 মিটার/সে.]

7. দূরের কোন চূড়া হইতে বন্দুকের শব্দ শুনিয়া কোন ব্যক্তি তাহার ঘড়ি মিলাইল এবং পরে দেখিল যে তাহার ঘড়িটি দুই সেকেণ্ড 'স্লো' হইয়াছে। চূড়াটি কত দূরে অবস্থিত? সেই সময়ে বাতাসের তাপমাত্রা =15°C এবং 0°C-এ বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ=332 মিটার/সে.।

[An observer sets his watch by the sound of a signal gun at a distant tower. He finds that his watch is slow by two seconds. Find the distances of the tower from the observer. Temperature of air during observation is 15°C and the velocity of sound in air at 0°C is 332 metres/sec.] [Ans. 683·2 মিটার]

8. কোন্ তাপমাত্রায় বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ, 0°C-এ যে গতিবেগ তাহার 1·414 গুণ হইবে?

[Determine the temperature at which the velocity of sound in air becomes 1·414 times its value at 0°C.] [Ans. 272·8°C] [C. U.]

9. হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম গ্যাসে শব্দের গতিবেগের তুলনা কর।

[Compare the velocities of sound in hydrogen and helium gases.] [Ans. 2 : 1]

10. If the velocity of sound through hydrogen at 0°C is 4200 ft/sec., what will be the velocity of sound at the same temperature through a mixture of two parts by volume of hydrosen to one of oxygen? The density of oxysen is sixteen times that of hydrogen.] [Ans. 1715 ft/sec. C. U.]

$$\left[\text{Hint}: \ P_m = \frac{V_1P_1 + V_2P_2}{V_1 + V_2} = \frac{2\times1 + 1\times16}{2+1} = 6\right]$$

11. এক কিলোমিটার লম্বা লোহার নলের একপ্রান্তে শব্দ করিলে নলটির অপর প্রান্তে 2·8 সেকেণ্ড সময়ের ব্যবধানে দুইটি শব্দ শোনা যায়। সেই সময় বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ 330 মি./সে. হইলে লোহার ভিতর শব্দের গতিবেগ বাহির কর।

[A sound is emitted by a source placed at one end of an iron tube one kilometre long, and two sounds are heard at the other end at an interval of 2·8 secs. If the velocity of sound in air in that condition of the experiment be 330 metres/sec., find that for iron.] [Ans. 1873 মি./সে.]

12. ডপলার তত্ত্ব ব্যাখ্যা কর। উৎস, শ্রোতা এবং বায়ু গতিশীল থাকিলে শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্কের সহিত বিভিন্ন বেগের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[Explain Doppler's principle. Deduce the formula connecting the pitch of note heard with velocities of the wind, source and observer] [C. U.]

13. ডপলার ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। উৎস ও শ্রোতা একই দিকে বিভিন্ন গতিবেগে ধাবমান হইলে শ্রুত আপাত কম্পাঙ্কের নির্ণায়ক সূত্রটি প্রতিষ্ঠিত কর।

[Explain Doppler effect. Derive an expression for the apparent change in frequency when the source and the observer are moving in the same direction with different velocities.]

14. ঘণ্টায় 60 মাইল গতিবেগে একটি ইঞ্জিন হুইশিল বাজাইতে বাজাইতে কোন শ্রোতার অভিমুখে আসিতেছে। বাঁশীর কম্পাঙ্ক 500 হইলে শ্রোতা যে শব্দ শুনিবে তাহার কম্পাঙ্ক কত হইবে? বায়ু মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ=1120 ফু./সে.।

[An engine sounding a whistle of frequency 500 vibrations per second is approaching an observer at a velocity of 60 miles per hour. What is the note heard by the observer? Velocity of sound in air=1120 ft./sec] [Ans. 452·6] [C. U.]

15. Find the apparent frequency of sound of a whistle of frequency 800 C. P. S. from an engine that is approaching with a speed of 60 kilometres per hour, a stationary observer. Velocity of sound in air = 332 metres/sec.

[Ans. 842·2] [B. U.]

16. Calculate the velocity at which an observer should approach a source of frequency one thousand per second at rest in order to produce a Doppler shift of 40 per second Velocity of sound in air=1120 ft/sec. [Ans. 44·8 ft./sec.] [C. U.]

17. A tuning fork of frequency 480 is moved by a person towards a reflecting surface with a velocity of 6 metres/sec. How many beats would be heard by him per sec. ? [Ans. 8·9]

18. স্বরযুক্ত ও স্বরবর্জিত শব্দের পার্থক্য লিখ। স্বরযুক্ত শব্দের বিশিষ্ট্য কি কি? কোন স্বরের তীক্ষ্ণতা মাপিবার জন্য কোন পদ্ধতির বর্ণনা দাও।

[Distinguish btween musical sound and noise. What are the important characteristics of musical sound ? Describe a method by which you can determine the pitch of a musical sound.]

19. স্বরসমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট কি কি এবং তাহারা কিসের উপর নির্ভর করে?

[What are the characteristics of musical sound ? On what factors do they depend ?]

20. সীবেকের সাইরেনের বর্ণনা দাও এবং ইহার সাহায্যে কোন স্বরের তীক্ষ্ণতা কিরূপ মাপা যায় তাহা লিখ।

[Describe a Seebeck's siren and explain how the pitch of a musical sound can be measured with its help.]

21. সাইরেনের ঘূর্ণনসংখ্যা প্রতি মিনিটে 480 হইলে উহার গায়ে কতগুলি ছিদ্র থাকিলে 256 কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট স্বরশলাকার সহিত সমমেল উৎপন্ন করিবে?

[The disc of a siren makes 480 revolutions per minute. How many holes should there be to produce a unison with a tuning fork of frequency 256 ?] [Ans. 32]

22. সাইরেনের চাকতিটি প্রতি সেকেণ্ডে 10 পাক ঘোরে এবং 484 কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট স্বরশলাকার সহিত প্রতিসেকেণ্ডে 4টি করিয়া স্বরকম্প উৎপন্ন করে। সাইরেনের গায়ে ছিদ্রসংখ্যা কত?

[The disc of a siren is making 10 revolutions per second. How many holes it possesses in order that it may produce 4 beats per sec. with a tuning fork of frequency 484 ?] [Ans. 48] [C. U.]

23. শব্দ গ্রহণ ও উহার পুনরুৎপাদন বলিতে কি বোঝায়? চিত্রের সাহায্যে ফোনোগ্রাফ এবং গ্রামোফোনের বর্ণনা দাও এবং কার্যপদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।

[What is understood by recording and reproduction of sound ? Describe with diagrams a phonograph and a gramophone and explain their working principle.]

24. ফিল্মে কিরূপে শব্দগ্রহণ এবং উহার পুনরুৎপাদন করা হয় তাহা সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

[State briefly how sound is recorded and reproduced in films.]

———

পঞ্চম অধ্যায়

আলোক তরঙ্গের-প্রকৃতি
(Nature of Light Waves)

5.1. **আলোকের মতবাদ** (Theories of light) : পরীক্ষার সাহায্যে জানা যায় যে আলোক চাপ প্রদান করে, তাপ উৎপন্ন করিতে পারে এবং কোন মাধ্যমে আলোকের নির্দিষ্ট গতিবেগ আছে। তাছাড়া বৈদ্যুতিক বাতি জ্বালিলে বৈদ্যুতিক শক্তির বদলে আলোক, কয়লা পোড়াইলে রাসায়নিক শক্তির বদলে আলোক পাইয়া থাকি এবং আলোককেও অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তরিত করা সম্ভব। সুতরাং আলোক একপ্রকারের শক্তি। আলোকের উৎস হইতে আলোক শক্তি বাহির হইয়া আসে এবং নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে দ্রষ্টার নিকট আসিয়া পৌছায়। আলোকের প্রকৃতি ব্যাখ্যা করার জন্য বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন মতবাদের অবতারণা করা হয়; যথা: (*i*) **কণিকাতত্ত্ব** (corpuscular theory); (*ii*) **তরঙ্গবাদ** (wave theory); (*iii*) **তড়িচ্চুম্বকীয় মতবাদ** (electro-magnetic theory) এবং (*iv*) **কোয়ান্টাম মতবাদ** (Quantum theory)।

(*a*) **আলোকের কণিকাতত্ত্ব** (Corpuscular theory of light): নিউটন এই তত্ত্বের অবতারণা করেন। তাঁহার মতে আলোকের উৎস হইতে ঝাঁক ঝাঁক অতি ক্ষুদ্র কণিকা (corpuscles) নির্গত হইয়া আলোকের গতিবেগে চলিতে থাকে এবং কণিকাগুলি চোখে আঘাত করিলে দর্শনের অনুভূতি জন্মায়। এই মতবাদের সাহায্যে আলোকের সরলরেখায় গমন, প্রতিফলন, প্রতিসরণ ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইলেও আলোকের ব্যতিচার (interference), অপবর্তন (diffraction), ইত্যাদি ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইল না। তাছাড়া এই মতবাদ অনুসারে ঘনতর মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ বেশী হওয়া উচিত। কিন্তু পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেল যে ঘনতর মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ কম হইতেছে। এই সমস্ত কারণে নিউটনের কণিকাবাদ পরিত্যক্ত হইল।

(*b*) **আলোকের তরঙ্গবাদ** (Wave theory of light) : হাইজেন এই মতবাদের প্রবক্তা। তাঁহার মতে আলোকের উৎস হইতে বাহির হইয়া আলোক তরঙ্গের আকারে ধাবিত হয় এবং চোখে আঘাত করিয়া দর্শনের অনুভূতি জাগায়। সাধারণ ধারণা হিসাবে তরঙ্গ প্রসারের জন্য মাধ্যমের প্রয়োজন হয়। কিন্তু সূর্য হইতে, সুদূর তারকারাজি হইতে আমরা আলোক পাই এবং অন্তর্বর্তী অধিকাংশ স্থানে

কোন বাস্তব মাধ্যম নাই। তাছাড়া বায়ুশূন্য স্থানেও কোন আলোকের উৎসকে রাখিলেও আমরা আলোক পাইতে পারি। এই ধরনের অসুবিধা দূর করার জন্য হাইজেন এক ধরনের মাধ্যমের কল্পনা করেন এবং তাহার নাম দেন **ঈথার** (aether)। তিনি ঈথারের কণাগুলিকে সর্বব্যাপী, সূক্ষ্মাতিসূক্ষ্ম, ওজনশূন্য এবং সম্পূর্ণরূপে স্থিতিস্থাপক হিসাবে কল্পনা করেন। তাছাড়া আলোকের তরঙ্গকে তিনি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ হিসাবে চিহ্নিত করেন। হাইজেনের মতবাদ অনুসারে আলোকের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইলেও আলোকের ঋজুপথে গমন এবং আলোকের সমবর্তন (Polarisation) ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইল না। পরবর্তী কালে বিজ্ঞানী ফ্রেনেল (Fresnel) আলোক তরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ হিসাবে ধরিয়া আলোকের সমবর্তন ব্যাখ্যা করিতে সমর্থ হন। তাছাড়া তরঙ্গবাদের সাহায্যে আলোকের ঋজুপথে গমনেরও ব্যাখ্যা দেন। তরঙ্গবাদ বিভিন্ন ঘটনাকে ব্যাখ্যা করিতে সমর্থ হইলেও অবাস্তব ধর্মাবলম্বী ঈথারের কল্পনা মানুষের মনকে সংশয় মুক্ত করিতে পারিল না। পরবর্তীকালে তড়িচুম্বকীয় মতবাদ আবিষ্কারের ফলে ঈথারের কল্পনার আর কোন প্রয়োজন রহিল না।

(*c*) **আলোকের তড়িচুম্বকীয় মতবাদ** (Electromagnetie theory of light) : 1873 খৃষ্টাব্দে ম্যাক্সওয়েল তত্ত্বগতভাবে এই মতবাদের অবতারণা করেন। তাঁহার মতে আলোক প্রকৃতিতে এক ধরনের তড়িচুম্বকীয় তরঙ্গ। 1888 খৃষ্টাব্দে বিজ্ঞানী হার্জ (Hertz) পরীক্ষার সাহায্যে এই তত্ত্ব প্রমাণ করিতে সমর্থ হন। আলোক শক্তি সঞ্চালনের সময় তড়িচুম্বকীয় শক্তির সঞ্চালন ঘটে এবং আলোক তরঙ্গের বিস্তার তড়িৎ ও চুম্বকীয় ভেক্টরের সমকোণে ঘটিয়া থাকে। সুতরাং আলোক তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ হইবে। কস্মিক রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য খুব কম এবং রেডিও তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনেক বেশী। কিন্তু সকলেই (আলোক সহ) তড়িচুম্বকীয় গোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত এবং শূন্য মাধ্যমে সকলেরই গতিবেগ এক এবং নির্দিষ্ট। তখনকার দিনে এই মতবাদ সমস্ত ঘটনার ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হইয়াছিল।

(*d*) **আলোকের কোয়ান্টাম মতবাদ** (Quantum theory of light) : উনবিংশ শতাব্দীর শেষ দিকে এবং বিংশ শতাব্দীর প্রথম দিকে কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ (black body radiation), তড়িৎ-আলোক ক্রিয়া (photo-electic effect), ইত্যাদি আবিষ্কৃত হইল এবং তড়িচুম্বকীয় মতবাদ এই ঘটনাগুলির ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হইল না। 1901 খৃষ্টাব্দে বিজ্ঞানী প্লাঙ্ক (planck) আলোকের কোয়ান্টাম মতবাদ প্রবর্তন করেন এবং পরবর্তীকালে বিশ্ববিখ্যাত বিজ্ঞানী আইনষ্টাইন ঐ মতবাদকে বিশেষভাবে পরিপুষ্ট করেন। এই মতবাদ অনুসারে যে কোন বিকিরণ অসংখ্য

বিকিরণ কোয়ান্টার সমষ্টি এবং আলোকের ক্ষেত্রে এই কোয়ান্টাগুলিকে বলা হয় **ফোটন** (Photon)। ফোটনগুলি আলোকের উৎস হইতে সবিরামভাবে নির্দিষ্ট শক্তি লইয়া বাহির হইয়া আসে এবং তাহাদের শক্তি সর্বদাই নির্দিষ্ট। ফোটনের কম্পাঙ্ক f হইলে ফোটনের শক্তি hf হইবে যেখানে h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক $= 6{\cdot}63 \times 10^{-24}$ Joule-sec.। কোয়ান্টাম মতবাদ কৃষ্ণ বস্তু বিকিরণ, আলোক তড়িৎ ক্রিয়া, রমন ক্রিয়া (Raman effect) ইত্যাদির ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হইলেও এই মতবাদের সাহায্যে ব্যতিচার, সমবর্তন ইত্যাদির সুষ্ঠু ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব হইল না।

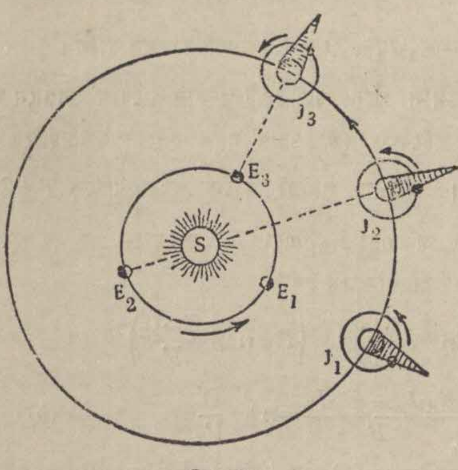
বর্তমান মতবাদ অনুসারে আলোকের সহিত আলোকের পারস্পরিক ক্রিয়া ব্যাখ্যা করিবার জন্য তরঙ্গবাদকে এবং বিকিরণের সহিত পদার্থের পারস্পরিক ক্রিয়া ব্যাখ্যা করিবার জন্য কোয়ান্টাম মতবাদকে প্রয়োগ করিতে হইবে।

5·2. **আলোকের গতিবেগ** (Velocity of light) **:** কোন মাধ্যমে এক সেকেণ্ড সময়ে আলোক যে দূরত্ব অতিক্রম করে সেই দূরত্বকে ঐ মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ বলা হয়। 1667 খৃষ্টাব্দে গ্যালিলিও সর্বপ্রথম আলোকের গতিবেগ মাপিবার চেষ্টা করেন। দুইজন ব্যক্তি দুইটি পাহাড়ের উপর থাকেন এবং প্রত্যেকের হাতে একটি করিয়া বাতি আচ্ছাদন দেওয়া অবস্থায় থাকে। প্রথম ব্যক্তিটি বাতির আচ্ছাদন খুলিয়া দিলেন এবং দ্বিতীয় ব্যক্তিটি ঐ আলো দেখার সঙ্গে সঙ্গে তাঁহার বাতির ঢাকনা খুলিয়া দিলেন। এইবার প্রথম ব্যক্তি দ্বিতীয় ব্যক্তির বাতির আলো দেখা এবং তাঁর নিজের বাতির ঢাকনা খোলার সময়ের ব্যবধান নির্ণয় করিলেন। পরীক্ষার ফল হিসাবে দেখা গেল যে সময়ের ব্যবধান শূন্য হইতেছে। সেইজন্য গ্যালিলিও সিদ্ধান্ত করেন যে আলোকের গতিবেগ অসীম অথবা তাহার পরিমাণ এত বেশী যে সাধারণ পরীক্ষার সাহায্যে তাহার পরিমাপ সম্ভব নয়। 1675 খৃষ্টাব্দে ওলাফ্ রোমার (Olaf Romer) জ্যোতির্বিদ্যার সাহায্যে সর্বপ্রথম আলোকের গতিবেগ নির্ণয়ে কৃতকার্য্য হন। পরবর্তীকালে অন্যান্য বহু বৈজ্ঞানিক যথা ফুকো, ফিজু, মাইকেলসন্ ইত্যাদি অনেকেই আলোকের গতিবেগ নির্ণয় করেন। শূন্য মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ প্রায় 3×10^{10} সেমি./সেকেণ্ড। মাইলের হিসাবে উহার মান প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 1,86,000 মাইল। **ঘনতর মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ কমিয়া যায়।** সুতরাং বায়ু অপেক্ষা জলে আলোকের গতিবেগ কম হইবে। সূর্য্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব প্রায় 9·3 কোটি মাইল এবং সূর্য হইতে পৃথিবীতে আলোক পৌঁছাইতে প্রায় 8·3 মিনিট সময় লাগে। পৃথিবী হইতে চন্দ্রের দূরত্ব প্রায় 2,38,000 মাইল এবং আলোক মোটামুটি ভাবে 1·28 সেকেণ্ড সময়ে এই দূরত্ব অতিক্রম করে। প্রকৃতিতে আলোকের গতিবেগকেই বেগের চরম সীমা হিসাবে ধরা হইয়া থাকে।

আলোকের গতিবেগ নির্ণয়ের জন্য আমরা কেবলমাত্র রোমারের পদ্ধতি বর্ণনা করিব।

5.3. রোমারের পদ্ধতি (Romer's method)ঃ বৃহস্পতি গ্রহের বারোটি উপগ্রহ আছে এবং উপগ্রহগুলি বৃহস্পতির চারিপাশে আমাদের চন্দ্রের ন্যায় নির্দিষ্ট কক্ষপথে এবং নির্দিষ্ট গতিবেগে ঘুরিতে থাকে। পৃথিবী হইতে যদি দেখা যায় যে বৃহস্পতির কোন উপগ্রহ গ্রহটির ছায়াশঙ্কুর মধ্যে প্রবেশ করিয়াছে তখন উপগ্রহটিতে গ্রহণ হইবে। বিজ্ঞানী রোমার এই ধরনের গ্রহণের অবকাশ পর্য্যবেক্ষণ করেন এবং আলোকের গতিবেগ নির্ণয় করিতে সমর্থ হন। পৃথিবী এবং বৃহস্পতি সূর্য্যের চারিদিকে যে তলে আবর্তিত হয় বৃহস্পতির নিকটতম উপগ্রহটি সেই তলে আবর্তিত হয় বলিয়া পর্য্যবেক্ষণের জন্য রোমার এই উপগ্রহটিকে নির্বাচিত করেন। আলোকের গতিবেগ অসীম হইলে উপগ্রহটিতে গ্রহণ সংঘটিত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে পৃথিবী হইতে তাহা দেখা যাইবে এবং উপগ্রহটি নিকটে বা দূরে থাকিলেও উহার পরপর দুইটি গ্রহণের ব্যবধান একই থাকিতেছে বলিয়া পৃথিবী হইতে মনে হইবে। কিন্তু রোমার বিপরীত ফল লক্ষ্য করিয়া সিদ্ধান্ত করেন যে আলোকের নির্দিষ্ট গতিবেগ আছে।

5ক নং চিত্রে S সূর্য্যের অবস্থান ; E_1 E_2 E_3 বিভিন্ন সময়ে পৃথিবীর অবস্থান এবং J_1 J_2 J_3 বিভিন্ন সময়ে বৃহস্পতির অবস্থান সূচিত করিতেছে। E_1 J_1 অবস্থানে সূর্য্য, পৃথিবী এবং বৃহস্পতি একই রেখায় আছে এবং এই অবস্থানে



চিত্র—5 ক

পৃথিবী হইতে বৃহস্পতির দূরত্ব সর্বনিম্ন। এই অবস্থানে সংযোগ অবস্থান (position of conjunction) বলা হয়। পক্ষান্তরে E_2 J_2 অবস্থানেও সূর্য্য, পৃথিবী এবং

বৃহস্পতি একই রেখায় আছে কিন্তু এই অবস্থানে পৃথিবী হইতে বৃহস্পতির দূরত্ব সর্বোচ্চ। এই অবস্থানকে প্রতিযোগ অবস্থান (position of opposition) বলে।

গ্রহ দুইটি যখন $E_1 J$ অবস্থানে আছে সেই সময় পর্যবেক্ষণ শুরু করা হইল এবং মনে কর, T মুহূর্তে উপগ্রহটির গ্রহণ সংঘটিত হইল। আলোকের গতিবেগ V হইলে পৃথিবী হইতে গ্রহণটিকে $T+\frac{E_1 J_1}{V}$ সময়ে দেখা যাইবে। আমরা জানি সূর্যের চারিদিকে একবার ঘুরিতে বৃহস্পতির প্রায় 12 বৎসর সময় লাগে। সুতরাং $E_1 J_1$ অবস্থানের সময় হইতে প্রায় সাত মাস পরে গ্রহ দুইটি প্রতিযোগ অবস্থানে অর্থাৎ J_2 অবস্থানে আসিয়া পৌঁছাইবে। মনে কর এই সময়ে উপগ্রহটিতে আরও n সংখ্যক গ্রহণ (প্রথম গ্রহণটিকে বাদ দিয়া) সংঘটিত হইয়াছে। পর পর দুইটি গ্রহণের ব্যবধান θ হইলে উপগ্রহটির উপরের অবস্থানে গ্রহণটি $T+n\theta$ মুহূর্তে সংঘটিত হইবে। কিন্তু পৃথিবী হইতে এই গ্রহণটিকে $T+n\theta+\frac{E_2 J_2}{V}$ সময়ে দেখা যাইবে। কিন্তু পৃথিবী হইতে প্রথম এবং $n+1$ তম গ্রহণটি (প্রথম গ্রহণটিকে ধরিয়া যে যে মুহূর্তে দেখা গিয়াছে তাহার অন্তর্বর্তী ব্যবধান t_1 হইলে আমরা পাই

$$t_1=T+n\theta+\frac{E_2J_2}{V}-(T+n\theta)$$

$$=n\theta+\frac{E_2J_2-E_1J_1}{V}=n\theta+\frac{D}{V} \qquad \cdots(a)$$

যেখানে $E_2J_2-E_1J_1=D=$ পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাস।

আরও প্রায় সাতমাস পরে গ্রহ দুইটি পুনরায় সংযোগ অবস্থানে অর্থাৎ E_3J_3 অবস্থানে আসিবে এবং পর্যবেক্ষণ শুরু হওয়ার মুহূর্ত হইতে উপগ্রহটিতে $2n$ সংখ্যক গ্রহণ সংঘটিত হইবে। সুতরাং পৃথিবী হইতে শেষগ্রহণটিকে $T+2n\theta+\frac{E_3J_3}{V}$ সময়ে দেখা যাইবে। অতএব E_2 এবং E_3 অবস্থানে যে যে মুহূর্তে গ্রহণ দেখা গিয়াছে তাহার অন্তর্বর্তী ব্যবধান t_2 হইলে

$$t_2=T+2n\theta+\frac{E_3J_3}{V}-\left(T+n\theta+\frac{E_2J_2}{V}\right)$$

$$=n\theta+\frac{E_3J_3-E_2J_2}{V}=n\theta-\frac{D}{V} \qquad \cdots(b)$$

সমীকরণ (b)-কে সমীকরণ (a) হইতে বিয়োগ করিলে, আমরা পাই

$$t_1-t_2=\frac{2D}{V} \qquad \text{বা,} \quad V=\frac{2D}{t_1-t_2}$$

পর্য্যবেক্ষণের দ্বারা $(t_1 - t_2)$ নির্ণয় করিয়া এবং পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসের মান (D) জানিয়া আলোকের গতিবেগ নির্ণয় করা সম্ভব। রোমার লক্ষ্য করেন যে $(t_1 - t_2)$-এর মান 33 মি. 12 সে. হইতেছে।

পরীক্ষায় ত্রুটি : (*i*) গণনার সময় পৃথিবী, বৃহস্পতি এবং উপগ্রহের কক্ষপথ গুলিকে উপবৃত্তাকারের বদলে বৃত্তাকার ধরা হইয়াছে (*ii*) রোমারের যুগে সময় মাপিবার জন্য নির্ভুল ক্রোনোমিটার আবিষ্কৃত হয় নাই।

5.4. **আলোক বর্ষ** (Light-year) **:** জ্যোতির্বিদ্যায় কোটি কোটি মাইল দূরত্বের হিসাব রাখিতে হয়। সেইক্ষেত্রে **দূরত্ব পরিমাপের একক হিসাবে আলোক-বর্ষ** ব্যবহৃত হইয়া থাকে। শূন্য মাধ্যমে আলোক এক বৎসরে যে পরিমাণে দূরত্ব যাইতে পারে তাহাকে **আলোক বর্ষ** বলা হয়।

$\therefore$ 1 আলোক বর্ষ $= 1,86,000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365$ মাইল

$= 586 \times 10^{12}$ মাইল (প্রায়)

$= 9{\cdot}45 \times 10^{12}$ কিলোমিটার (প্রায়)।

5.5. **তরঙ্গমুখ এবং হাইজেনের নীতি** (Wave-front and Huyghen's principle) **:** হাইজেনের নীতি অনুযায়ী আলোক উৎসের বিন্দুগুলি ঈথার তরঙ্গের সৃষ্টি করে। এই তরঙ্গমালা নির্দিষ্ট গতিবেগে সময়ের সহিত চারিদিকে সঞ্চালিত হইতে থাকে। সুতরাং কোন বিন্দু উৎস হইতে উদ্ভূত তরঙ্গগুলি গোলাকৃতি তলে ছড়াইয়া পড়িবে। কোন নির্দিষ্ট সময়ে কোন তলের সমস্ত কণাগুলি একই অবস্থায় স্পন্দনরত থাকিলে সেই তলকে **তরঙ্গমুখ** বলা হয়। বিন্দু উৎসের জন্য সমসত্ত্ব মাধ্যমে তরঙ্গমুখ সর্বদাই গোলাকৃতি তলে অবস্থিত থাকিবে। সময়ের সহিত গোলকের ব্যাসার্ধ বাড়িয়া যাইবে অর্থাৎ তরঙ্গমুখের বক্রতা ব্যাসার্ধ (radius of curvature) বাড়িয়া যাইবে। আলোকের উৎসটি বহুদূরে অবস্থিত থাকিলে তরঙ্গ তলের যে কোন অংশ সমতল বলিয়া বোধ হইবে এবং সেইক্ষেত্রে তরঙ্গমুখকে **সমতল তরঙ্গ মুখ** (plane wave front) বলা হইয়া থাকে। আলোকরশ্মি সর্বদাই তরঙ্গমুখের সহিত লম্বভাবে থাকে। সুতরাং সমতল তরঙ্গ-মুখের জন্য আলোকরশ্মি-গুলি সমান্তরাল হইবে। সূর্য পৃথিবী হইতে অনেক দূরে অবস্থিত বলিয়া সূর্য্যের জন্য আলোকের তরঙ্গমুখকে সমতল এবং রশ্মিগুলিকে সমান্তরাল ধরা হয়।

হাইজেনের নীতির সাহায্যে কোন মাধ্যমে তরঙ্গের বিস্তার ব্যাখ্যা করা যায়। তাঁহার নীতির মূল প্রস্তাবগুলি নিম্নরূপ :

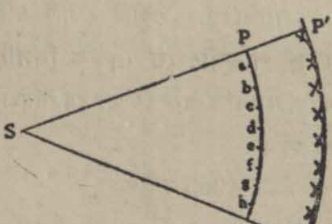
(*i*) তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু আন্দোলনের নূতন উৎস হিসাবে কাজ করে।

(*ii*) আলোকের মূল উৎস যেভাবে তরঙ্গের সৃষ্টি করে ঠিক সেইভাবেই তরঙ্গ

মুখের প্রতিটি বিন্দু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র তরঙ্গের সৃষ্টি করিবে। এই সমস্ত তরঙ্গকে গৌণ তরঙ্গ (secondary wavelets) বলা হয়।

(*iii*) যে কোন মুহূর্তে গৌণতরঙ্গ তলগুলির স্পর্শকতল টানিলে এইভাবে অঙ্কিত স্পর্শকতল পূর্বের তরঙ্গতলের নূতন অবস্থান সূচিত করিবে। স্পর্শকতল গৌণতরঙ্গগুলির পশ্চাদ্‌গামী অংশকে উপেক্ষা করিতে হইবে।

5খ নং চিত্রে P উৎসের কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে PQ তরঙ্গমুখ সূচিত করিতেছে।



চিত্র—5 খ

t সময় পরে তরঙ্গমুখের অবস্থান নির্ণয় করিতে হইবে। হাইজেনের নীতি অনুসারে PQ তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু a, b, c, ইত্যাদি আন্দোলনের নূতন উৎস হিসাবে কাজ করিবে। আলোকের গতিবেগ c হইলে t সময়ে আলোক ct দূরত্ব যাইবে। এইবার যথাক্রমে $a, b, c, \cdots$ ইত্যাদিকে কেন্দ্র করিয়া এবং প্রতিক্ষেত্রে ct ব্যাসার্ধ লইয়া আলোক-রশ্মির অভিমুখে বৃত্তচাপগুলি টানা হইল। ঐ বৃত্তচাপগুলির স্পর্শকতল ($P'Q'$) তরঙ্গমুখের নূতন অবস্থান সূচিত করিবে।

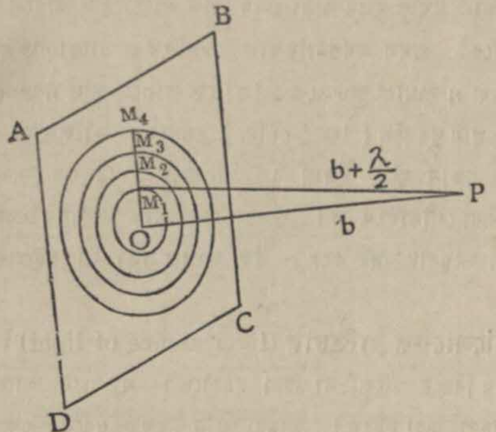
5·6. জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানের কার্যকারিতা (Validity of geometrical optics): আলোক সরলরেখায় গমন করে এই নীতির উপর জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান প্রতিষ্ঠিত। কিন্তু তরঙ্গবাদ অনুসারে আলোক তরঙ্গাকারে সঞ্চালিত হয়। আলোক সরলরেখায় গমন করে তাহা তরঙ্গবাদের সাহায্যেও মোটামুটিভাবে প্রতিষ্ঠিত করা যায়।

মনে কর, $ABCD$ একটি সমতল তরঙ্গমুখ এবং আলোক OP অভিমুখে অগ্রসর হইতেছে। তরঙ্গবাদ অনুযায়ী তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু আন্দোলনের নূতন উৎস হিসেবে কাজ করিবে এবং বিভিন্ন গৌণতরঙ্গগুলি নির্দিষ্ট গতিবেগে কিন্তু বিভিন্ন দশায় P বিন্দুতে আসিয়া পৌঁছাইবে। বিভিন্ন তরঙ্গের জন্য P বিন্দুতে যে সমস্ত সরণ ঘটিবে তাহাদের লব্ধি P বিন্দুতে সরণ সূচিত করিবে। তরঙ্গমুখের উপরে OP লম্ব এবং $OP=b$ এবং তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $=\lambda$ ধরা হইল। এইবার P-কে কেন্দ্র করিয়া $d+\frac{\lambda}{2}$, $d+\frac{2\lambda}{2}$, $d+\frac{3\lambda}{2}$, ইত্যাদি ব্যাসার্ধ লইয়া গোলক অঙ্কিত করিলে গোলকগুলি $ABCD$ তলকে যথাক্রমে M_1, M_2, $M_3 \cdots\cdots$ ইত্যাদি সমকেন্দ্রিক বৃত্তে ছেদ করিবে।

OM_1 ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট প্রথম বৃত্তের ক্ষেত্রফল $= \pi \, . \, OM_1{}^2$

$$= \pi(PM_1{}^2 - OP^2) = \pi\left\{\left(b+\frac{\lambda}{2}\right)^2 - b^2\right\} = \pi b\lambda$$

[λ-এর মান কম বলিয়া λ^2 সমন্বিত রাশিকে উপেক্ষা করা হইল]



চিত্র—5 গ

অনুরূপভাবে OM_2 ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট বৃত্তের ক্ষেত্রফল $= \pi \, . \, OM_2{}^2$

$$= \pi(PM_2{}^2 - OP^2) = \pi\{(b+\lambda)^2 - b^2\} = 2\pi b\lambda$$

[λ^2-কে উপেক্ষা করিয়া]

$\therefore$ প্রথম বলয়াকার (hollow) চাকতির ক্ষেত্রফল

= দ্বিতীয় বৃত্তের ক্ষেত্রফল − প্রথম বৃত্তের ক্ষেত্রফল

$= 2\pi b\lambda - \pi b\lambda = \pi b\lambda$

অনুরূপভাবে দেখানো যাইতে পারে যে দ্বিতীয় বলয়াকার অঞ্চলের ক্ষেত্রফলও $\pi b\lambda$ হইবে। এই সমস্ত অঞ্চলগুলিকে ফ্রেনেলের অর্ধ পর্যায়কাল অঞ্চল (Fresnels half-period zone) বলা হয়। মনে কর OM_1 ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট অঞ্চলের জন্য এবং পর পর অর্ধ পর্যায়কাল অঞ্চলগুলির জন্য P বিন্দুতে সরণের পরিমাণ যথাক্রমে d_1, d_2, d_3 ইত্যাদি বিভিন্ন অঞ্চলের জন্য সরণের পরিমাণ বিভিন্ন হইবে, কিন্তু অঞ্চলগুলির পারস্পরিক গড় দূরত্ব $\lambda/2$ বলিয়া P বিন্দুতে সরণগুলি পর্যায়ক্রমে বিপরীত দশাসম্পন্ন হইবে অর্থাৎ পর্যায়ক্রমে বিপরীত চিহ্নের হইবে।

সুতরাং, P বিন্দুতে লব্ধি সরণের পরিমাণ d হইলে

$$d = d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + d_5 \cdots$$

$$= \frac{d_1}{2} + \left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) + \left(\frac{d_3}{2} - d_4 + \frac{d_5}{2}\right) + \cdots$$

কিন্তু মোটামুটিভাবে $d_2=\frac{1}{2}(d_1+d_3)$, $d_4=\frac{1}{2}(d_3+d_5)$; ইত্যাদি বলা যাইতে পারে।

$\therefore$ লব্ধি সরণ $d=d/2$

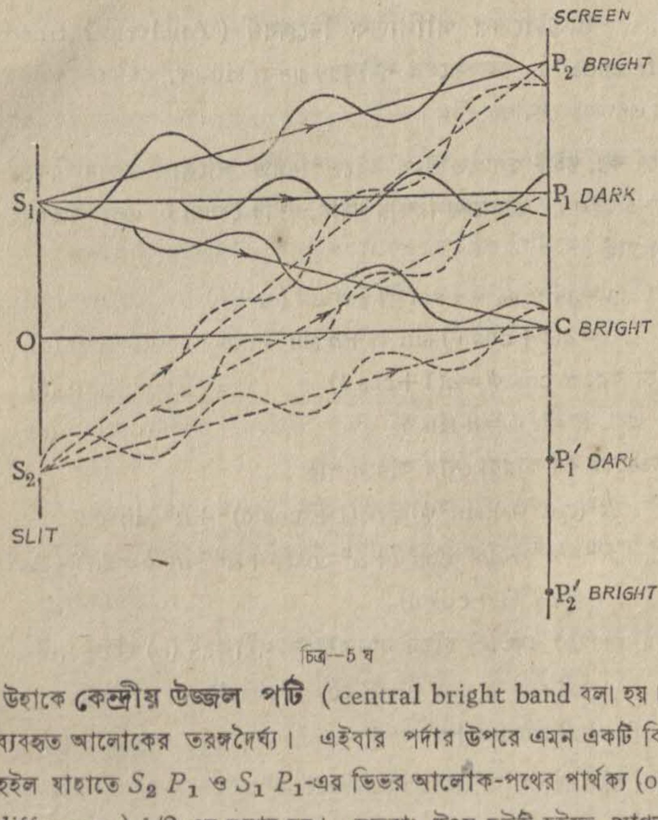
সুতরাং কোন অস্বচ্ছ বস্তুর দ্বারা প্রথম বৃত্তটি আচ্ছাদিত করিলে লব্ধিসরণ কেবল মাত্র $d_2/2$ হইবে। প্রথম অর্ধপর্য্যায়কাল অঞ্চলটিকেও আচ্ছাদিত করিলে লব্ধি সরণ হইবে $d_3/2$ এবং n-সংখ্যক অঞ্চলকে আচ্ছাদিত করিলে লব্ধি সরণ $d_{n+1}/2$ হইবে। যেহেতু λ-এর মান খুব কম (10^{-4} সেমি.) সেইহেতু আলোকের পথে এবং OP এর সমকোণে কোন ক্ষুদ্র অস্বচ্ছ বস্তু রাখিলেই P বিন্দুতে মোটামুটি ভাবে কোন আলোক আসিয়া পৌছাইবে না। সুতরাং তরঙ্গ-বাদ অনুসারেও বলা যাইতে পারে যে আলোক সরলরেখায় গমন করে। ইহা অভ্রান্ত সত্য না হইলেও মোটামুটিভাবে কার্যকর।

5.7 আলোকের ব্যতিচার (Interference of light) : তৃতীয় অধ্যায়ে শব্দের ব্যতিচার বিষয়ে আলোচনা করা হইয়াছে। বর্তমানে আলোকের ব্যতিচার সম্বন্ধে আলোচনা করা হইবে। আমরা জানি উপযুক্ত ধরনের একাধিক তরঙ্গমালার উপরিপাতনে ফলে ব্যতিচার সৃষ্টি হইতে পারে। অনুদৈর্ঘ্য এবং তির্যক তরঙ্গ উভয়ের ক্ষেত্রেই ব্যতিচার ঘটিয়া থাকে। শব্দতরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ এবং আলোকতরঙ্গ তির্যক ধরনের। এই কারণে আলোকের ক্ষেত্রেও ব্যতিচার দেখা যায়।

মনে কর একই বর্ণের (monochromatic) সমান বিস্তার ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট দুইটি আলোক তরঙ্গ নির্দিষ্ট দশায় মাধ্যমের কোন বিন্দুতে আসিয়া আপতিত হইল। তরঙ্গের উপরিপাত নীতি অনুযায়ী বিন্দুটির মোট সরণ তরঙ্গ দুইটির সরণের লব্ধির সমান হইবে। তরঙ্গ দুইটি ঐ বিন্দুতে একই দশায় (same phase) পৌছাইলে লব্ধি বিস্তার তরঙ্গ দুইটির বিস্তারের যোগফলের সমান হইবে। কিন্তু তরঙ্গ দুইটির দশা বিপরীত হইলে লব্ধি বিস্তার দুইটির বিয়োগফলের সমান অর্থাৎ এইক্ষেত্রে শূন্য হইবে। আলোকের প্রাবল্য বিস্তারের বর্গের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং বিভিন্ন বিন্দুতে আলোকের প্রাবল্য দশার বৈষম্যের উপর নির্ভর করিবে। এই ধরনের ঘটনাকে **আলোকের ব্যতিচার** বলা হয়। বিজ্ঞানী টমাস ইয়ং 1802 খ্রীষ্টাব্দে সর্বপ্রথম এই ঘটনা লক্ষ্য করেন।

5 ঘ নং চিত্রে S_1, S_2 দুইটি সুসংগত (coherent) ক্ষুদ্র উৎস এবং উৎস দুইটি হইতে নির্গত আলোক পর্দার উপর আপতিত হইতেছে। S_1, S_2 ছিদ্র দুইটির পিছনে কোন আলোক উৎসকে রাখিলে ছিদ্র দুইটি আলোকিত হইবে এবং সেই ক্ষেত্রে S_1, S_2 সুসংগত উৎস হিসাবে কাজ করিবে। S_1, S_2-এর মধ্য বিন্দু O এবং OC

রেখাটি S_1 S_2-এর উপর লম্ব। সুতরাং C বিন্দুটি S_1, S_2 হইতে একই দূরত্বে অবস্থিত। এই কারণেই উৎস দুইটি হইতে আলোক একই দশায় C বিন্দুতে পৌছাইবে এবং ঐ বিন্দুতে লব্ধি বিস্তার দ্বিগুণ হইবে। সুতরাং C বিন্দুতে একটি **উজ্জ্বল পটি** (bright band) গঠিত হইবে। কেন্দ্রবিন্দুতে এই পটি গঠিত হয়



চিত্র—5 ঘ

বলিয়া উহাকে **কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পটি** (central bright band বলা হয়। মনে কর λ ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য। এইবার পর্দার উপরে এমন একটি বিন্দু P_1 লওয়া হইল যাহাতে S_2 P_1 ও S_1 P_1-এর ভিতর আলোক-পথের পার্থক্য (optical path difference) $\lambda/2$-এর সমান হয়। সুতরাং উৎস দুইটি হইতে আগত তরঙ্গমালা P_1 বিন্দুতে বিপরীত দশায় পৌছাইবে এবং ঐ বিন্দুতে লব্ধ বিস্তার শূন্য হইবে। সুতরাং P_1 বিন্দুটি অন্ধকার বিন্দু হইবে। C-কে কেন্দ্র করিয়া CP_1 ব্যাসার্ধ লইয়া পর্দার উপরে একটি বৃত্ত আঁকিলে বৃত্তের পরিধির সকল বিন্দুগুলিই অন্ধকার থাকিবে। এই অন্ধকার পটিকে **প্রথমসারির অন্ধকার পটি** (first order dark band) বলা হয়। অনুরূপভাবে S_1 P_2 এবং S_2 P_2-এর মধ্যে আলোক পথের পার্থক্য $2\lambda/2=\lambda$ হইলে তরঙ্গমালা P_2 বিন্দুতে সমদশায় পৌছাইবে এবং ঐ বিন্দুটি উজ্জ্বল হইবে। C-কে কেন্দ্র করিয়া CP_2 ব্যাসার্ধ লইয়া পর্দার উপর অঙ্কিত বৃত্তের

পরিধির সকল বিন্দুগুলিই উজ্জ্বল থাকিবে। ইহাকে **প্রথম সারির উজ্জ্বল পটি** (first order bright band) বলা হয়।

অনুরূপভাবে দ্বিতীয়, তৃতীয়, ইত্যাদি সারির যথাক্রমে অন্ধকার ও উজ্জ্বল পটি পাওয়া যাইবে।

5.8. **ব্যতিচারের গাণিতিক বিশ্লেষণ** (Analytical treatment of interference): চলতরঙ্গের সমীকরণ $y=a \sin \omega t$, যেখানে $y=$ সরণ, $a=$ বিস্তার এবং $\omega=$ কৌণিক বেগ।

মনে কর, দুইটি সুসংগত উৎস হইতে নির্গত আলোক কোন বিন্দুতে আসিয়া আপতিত হইল। তাহাদের বিস্তার সমান, দশার বৈষম্য δ এবং লব্ধিসরণ y হইলে আমরা পাই

$$y=y_1+y_2=a \sin \omega t+a \sin (\omega t+\delta)$$
$$=a(1+\cos \delta) \sin \omega t+a \sin \delta \cos \omega t \quad \cdots \quad \cdots(a)$$

মনে কর, $R \cos \phi=a(1+\cos \delta) \quad \cdots \quad \cdots(b)$

এবং $R \sin \phi=a \sin \delta \quad \cdots \quad \cdots(c)$

উভয়কেই বর্গ করিয়া যোগ করিলে পাই

$$R^2(\cos^2\phi+\sin^2\phi)=a^2(1+\cos \delta)^2+a^2 \sin^2\delta$$

বা, $R^2=a^2+2a^2 \cos \delta+a^2 \cos^2\delta+a^2 \sin^2\delta=2a^2+2a^2 \cos \delta.$

$$=2a^2(1+\cos \delta) \quad \cdots \quad \cdots(d)$$

সমীকরণ (b) এবং (c) হইতে মান বসাইয়া সমীকরণ (a) হইতে পাই

$$y=R \sin \omega t \cos \phi+R \cos \omega t \sin \phi$$
$$=R \sin (\omega t+\phi) \quad \cdots \quad \cdots(c)$$

ইহা সরল দোলগতি যাহার বিস্তার $=R$

আমরা জানি আলোকের প্রাবল্য (I) বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক।

$\therefore \; I \propto R^2$ বা, $I=kR^2$ যেথানে k একটি ধ্রুবক।

$$=k.\ 2a^2(1+\cos \delta)=k.\ 2a^2.\ 2 \cos^2\frac{\delta}{2}=k\, 4a^2 \cos^2\frac{\delta}{2}$$

স্পষ্টতঃই $\delta=0, 2\pi, 2(2\pi), \ldots, n(2\pi)$ হইলে $\cos^2 \delta/2=1$ (সর্বোচ্চমান) হইবে।

সেক্ষেত্রে $I=k.\ 4a^2$

সুতরাং তরঙ্গমালার দশার বৈষম্য 2π-এর সরল গুণিতক হইলে অর্থাৎ বিন্দুটিতে

তরঙ্গমালা একই দশায় আসিয়া পৌঁছাইলে প্রাবল্য সর্বোচ্চ হইবে এবং সেখানে উজ্জ্বল বিন্দু পাওয়া যাইবে।

কিন্তু $\delta=\pi, 3\pi, \cdots (2n+1)\pi$ হইলে $\cos^2\delta/2=0$ হইবে। সেক্ষেত্রে $I=0$ সুতরাং তরঙ্গমালা বিপরীত দশায় পৌঁছাইয়া অন্ধকার বিন্দুর সৃষ্টি করে।

5.9. স্থায়ী ব্যতিচারের শর্তাবলী (Conditions for sustained interference) :

নিম্নলিখিত শর্তাবলী পালিত হইলে স্থায়ী ব্যতিচার দেখা যাইবে :

(i) তরঙ্গ দুইটির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (বা কম্পাঙ্ক) সমান হওয়া দরকার।

(ii) আলোকের উৎস দুইটিকে সুসংগত (coherent) হইতে হইবে। এইরূপ হইলে তরঙ্গ দুইটির দশার বৈষম্য সর্বদাই স্থির থাকিবে।

(iii) সুসংগত উৎস দুইটিকে খুব কাছাকাছি থাকিতে হইবে। তাহা না হইলে উজ্জ্বল পটি এবং অন্ধকার পটি এত কাছাকাছি হইবে যে তাহাদের পার্থক্য বোঝা যাইবে না।

(iv) তরঙ্গ দুইটির সমবর্তনের অবস্থা (state of polarisation) একই হইতে হইবে।

(v) ব্যতিচারের জন্য তরঙ্গ দুইটির বিস্তারকে সমান অথবা প্রায় সমান হইতে হইবে। বিস্তার দুইটি সমান হইলে ধ্বংসাত্মক (destructive) ব্যতিচারের সৃষ্টি হইবে।

(vi) একরঙা আলো (monochromatic light) ব্যবহার করিলে তুলনামূলকভাবে বেশী সংখ্যায় উজ্জ্বল ও অন্ধকার পটি পাওয়া যাইবে।

5.10. আলোকের ব্যতিচার ও শক্তির সংরক্ষণ (Interference of light and conservation of energy) : আলোকের ব্যতিচারের জন্য উজ্জ্বল ও অন্ধকার পটির সৃষ্টি হয়। সুতরাং মনে হইতে পারে যে উজ্জ্বল পটিতে আলোকশক্তির সৃষ্টি হয় এবং অন্ধকার পটিতে তরঙ্গ দুইটির বিক্রিয়ার ফলে একে অন্যের শক্তিকে সম্পূর্ণভাবে বিনষ্ট করিয়া দেয়। প্রকৃতপক্ষে ব্যতিচারের জন্য আলোকশক্তির সৃষ্টি বা ধ্বংস হয় না কিন্তু আলোকশক্তির পুনর্বণ্টন ঘটিয়া থাকে। তরঙ্গ দুইটির বিস্তার a হইলে প্রত্যেকের জন্য প্রাবল্য তথা শক্তি Ka^2 হইবে, যেখানে K একটি ধ্রুবক। সুতরাং তরঙ্গ দুইটির জন্য প্রাবল্য বা শক্তি $(Ka^2+Ka^2)=2Ka^2$ হইবে।

ব্যতিচারের জন্য উজ্জ্বল পটিতে বিস্তার $2a$ এবং অন্ধকার পটিতে বিস্তার শূন্য হইয়া থাকে।

∴ উজ্জ্বল পটিতে প্রাবল্য বা শক্তি $= K(2a)^2 = K4a^2$

অন্ধকার পটিতে প্রাবল্য বা শক্তি $= K(0)^2 = 0$

∴ উজ্জ্বল ও অন্ধকার পটিতে গড়শক্তি $= \frac{K4a^2 + 0}{2} = 2Ka^2$

সুতরাং গড় শক্তির কোন পরিবর্তন ঘটিতেছে না। ব্যতিচারের ফলে শক্তির পুনর্বণ্টন ঘটিয়াছে মাত্র।

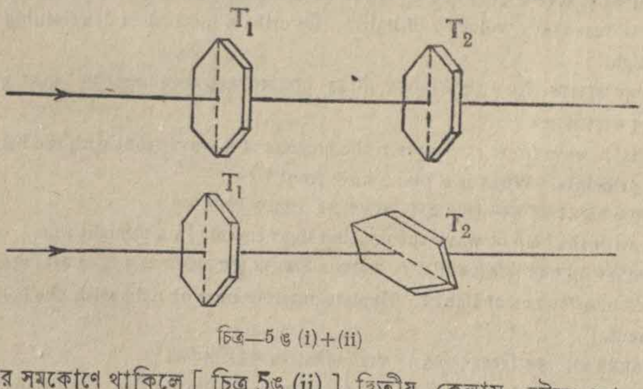
5.16. **আলোকের অপবর্তন বা ব্যবর্তন** (Diffraction of light): আলোকের পথে কোন অস্বচ্ছ বস্তুকে রাখিলে ছায়ার সৃষ্টি হয়। আলোক সরলরেখায় গমন করে ইহা ধরিয়া জ্যামিতিক পদ্ধতিতে ছায়ার পরিসীমা আঁকা যাইতে পারে। আলোক সরলরেখায় গমন করিলে জ্যামিতিক ছায়ার অংশে কোন আলোক থাকা উচিত নয়। কিন্তু আলোকের পথে সূচ্যগ্র অস্বচ্ছ বস্তু রাখিলে দেখা যাইবে যে জ্যামিতিক ছায়ার পরিসীমা বরাবর সামান্য আলোক রহিয়াছে। এই ঘটনা প্রমাণ করে যে প্রতিবন্ধকের ধার বা কিনারা ঘেঁষিয়া আলোক সামান্য ঘুরিয়া যায়। আলোকের যে ধর্মের জন্য আলোক কোন অস্বচ্ছ বস্তুর ধার বা কিনারা ঘেঁষিয়া সামান্য বাঁকিয়া যায় সেই ধর্মকে **আলোকের অপবর্তন** বলা হয়। হাইজেনের তরঙ্গবাদের সাহায্যে ইহার ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব। এই মতবাদ অনুসারে তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত যে কোন বিন্দু গৌণ তরঙ্গের উৎস হিসাবে কাজ করে এবং তরঙ্গমুখের সমস্ত বিন্দুগুলি একই দশায় থাকে। তরঙ্গমুখের সামনে কোন অস্বচ্ছ বস্তু রাখিলে বস্তুটি তরঙ্গমুখের সম্পূর্ণ অংশকে আবরিত করিতে পারে না। ইহার ফলে তরঙ্গমুখের অবশিষ্টাংশ হইতে কিছু পরিমাণ আলোক জ্যামিতিক ছায়াঞ্চলে আসিয়া পৌঁছায়। আলোক এক প্রকারের তরঙ্গ বলিয়া আলোকের অপবর্তন ঘটিয়া থাকে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশী হইলে অপবর্তনের পরিমাণ বেশী হইবে।

5.12. **আলোকের সমবর্তন** (Polarisation of light): তরঙ্গ দুই প্রকারের। যথা: (*i*) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ এবং (ii) তির্যকতরঙ্গ। যে কোন ধরনের তরঙ্গের ক্ষেত্রেই প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ইত্যাদি ঘটিতে পারে কিন্তু সমবর্তন কেবলমাত্র তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রেই ঘটিয়া থাকে। শব্দ তরঙ্গে সমবর্তন দেখা যায় না কিন্তু আলোক তরঙ্গে সমবর্তন ঘটিতে পারে। সেইজন্য আলোক তরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলা হইয়া থাকে। তির্যকতরঙ্গে তরঙ্গগতির অভিমুখের সহিত সমকোণে যে কোন তলে কণাগুলি কম্পিত হইতে পারে। কণাগুলি কেবলমাত্র একটি তলে কম্পিত হইতে থাকিলে তাহাকে তরঙ্গের **সমবর্তন** বলা হয়। আলোক কি ধরনের তরঙ্গ এই বিষয়ে বিজ্ঞানীদের ভিতর মতপার্থক্য দেখা দেয়। কিন্তু 1690

খৃষ্টাব্দে আলোকের সমবর্তন আবিষ্কৃত হওয়ার পর নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত হইল যে আলোক একপ্রকারের তির্য্যকতরঙ্গ।

টুরম্যালিন (Tourmaline) কেলাসের সাহায্যে আলোকের সমবর্তন দেখানো যায়। এই ধরনের কেলাস ষড়ভুজবিশিষ্ট (hexagonal), ঈষৎ সবুজ বর্ণের এবং ইহার ভিতর দিয়া আলোক যাইতে পারে। কেলাসের বৃহত্তম কর্ণটিকে কেলাসের **আলোক-অক্ষ** (optic axis) বলা হয়। টুরম্যালিন কেলাসের ভিতর দিয়া **অসমবর্তিত** (unpolarised) বা সাধারণ আলোক রশ্মি গমন করিলে নির্গত আলোক রশ্মি কেলাসের আলোক-অক্ষের সমান্তরালে সমবর্তিত হইবে।

5 ঙ (i) নং চিত্রে দুইটি (T_1, T_2) টুরম্যালিনের কেলাসকে আলোক অক্ষের সমান্তরালে রাখা হইয়াছে। আলোকের উৎস হইতে অসমবর্তিত আলোক T_1 কেলাসে আপতিত হইলে আলোকের একটি নির্দ্দিষ্ট অংশ কেলাসের ভিতর দিয়া বাহির হইয়া আসিবে এবং এই নিঃসৃত আলোক কেলাসটির আলোক-অক্ষের সমান্তরালে সমবর্তিত হইবে। নিঃসৃত আলোক T_2-এর ভিতর দিয়া অতিক্রম করিলেও প্রাবল্যের কোন তারতম্য ঘটিবে না। কিন্তু T_1 এবং T_2-এর আলোক-অক্ষ



চিত্র—5 ঙ (i)+(ii)

পরস্পরের সমকোণে থাকিলে [চিত্র 5ঙ (ii)], দ্বিতীয় কেলাস হইতে আর কোন আলোই নির্গত হইবে না। এই অবস্থায় কেলাস দুইটি আড়াআড়িভাবে (crossed) আছে বলা হয়। দ্বিতীয় অবস্থান হইতে T_2-কে আরও 90° ঘোরাইলে আবার আলো নির্গত হইবে। অন্যান্য অবস্থানে আলোকের প্রাবল্য মাঝামাঝি হইবে।

ইহার ব্যাখ্যা হিসাবে বলা যাইতে পারে যে T_1 কেলাসে আপতিত হইবার পূর্বে তরঙ্গগতির অভিমুখের সহিত সমকোণে যে কোন তলে ঈথার কণাগুলি কম্পিত হইতেছিল। এই ধরনের আলোকে অসমবর্তিত বা সাধারণ আলো বলা হয়। T_1 কেলাসের ভিতর দিয়া অসমবর্তিত আলো গমণ করিলে কেলাসটি আলোক-অক্ষের

সমান্তরালে যে সমস্ত আন্দোলন থাকিবে সেইগুলিকে বাদ দিয়া অন্যান্য সমস্ত আন্দোলনকে শোষণ করিয়া লয়। ইহার ফলে T_1 হইতে নির্গত আলোকরশ্মির আন্দোলন কেলাসের আলোক-অক্ষ বরাবর অভিলম্বতলে নিবদ্ধ থাকিবে, অর্থাৎ এই আলো সমবর্তিত হইয়াছে বলা যাইতে পারে। T_1 এবং T_2-এর আলোক-অক্ষ সমান্তরালে থাকিলে সমবর্তিত আলোক বিনা বাধায় T_2-এর ভিতর দিয়া চলিয়া যাইবে। কিন্তু আলোক-অক্ষ দুইটি পরস্পর সমকোণে থাকিলে (চিত্রের দ্বিতীয় অবস্থানে) T_2 হইতে কোন আলো নির্গত হইবে না। প্রথম কেলাসটিকে **সমবর্তক** (polariser) এবং দ্বিতীয়টিকে **বিশ্লেষক** (analyser) বলা হয়।

বিভিন্ন উপায়ে আলোকের সমবর্তন উৎপন্ন করা যাইতে পারে।

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের বিভিন্ন মতবাদগুলির সংক্ষেপে বর্ণনা দাও।

[State briefly the different theories of light.]

2. আলোকের গতিবেগ কাহাকে বলে ? আলোকের গতিবেগ নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[What is meant by velocity of light ? Describe a method of determining the velocity of light.]

3. তরঙ্গ মুখ কাহাকে বলে ? হাইজেনের নীতির সাহায্যে তরঙ্গমুখের অগ্রগতির ব্যাখ্যা দাও। সমতল তরঙ্গমুখ কাহাকে বলে ?

[What is a wave front ? Explain the progress of a wave front with the help of Huyghen's principle. What is a plane wave front ?]

4. আলোক সরলরেখায় গমন করে তাহা তরঙ্গবাদের সাহায্যে প্রমাণ কর।

[Prove, with the help of wave theory, that light travels in a straight line.]

5. আলোকের ব্যতিচার কাহাকে বলে ? পরীক্ষার সাহায্যে আলোকের ব্যতিচারের বর্ণনা দাও।

[What is interference of light ? Explain interferences of light with the help of an experiment.]

6. ব্যতিচারের গাণিতিক বিশ্লেষণ দাও। স্থায়ী ব্যতিচারের শর্তগুলি লিখ।

[Give the analytical treatment of interference. State the conditions for sustained interference.]

7. আলোকের ব্যতিচারে কি শক্তির সংরক্ষণ নীতি ব্যাহত হয় ?

[Is the principle of conservation of energy violated in the case of interference of light ?]

8, সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ: (a) আলোকের অপবর্তন, (b) আলোকের সমবর্তন।

[Write short notes on : (a) diffraction of light, (b) polarisation of light.]